

Razvoj bukovo - jelove sastojine simulatorom MOSES - etat temeljem prezrele zalihe i prirasta

Paljug, Petar

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Forestry / Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:108:944009>

Rights / Prava: [In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**



Repository / Repozitorij:

[University of Zagreb Faculty of Forestry and Wood Technology](#)



ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK
SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ
UZGAJANJE I UREĐIVANJE ŠUMA S LOVNIM GOSPODARENJEM

Petar Paljug

RAZVOJ BUKOVO-JELOVE SASTOJINE SIMULATOROM
MOSES - ETAT TEMELJEM PREZRELE ZALIHE I PRIRASTA

DIPLOMSKI RAD

ZAGREB, 2020.

ŠUMARSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU
ŠUMARSKI ODSJEK

**RAZVOJ BUKOVO-JELOVE SASSTOJINE SIMULATOROM
MOSES - ETAT TEMELJEM PREZRELE ZALIHE I PRIRASTA**

DIPLOMSKI RAD

Diplomski studij: Uzgajanje i uređivanje šuma s lovnim gospodarenjem

Predmet: Šumsko gospodarsko planiranje

Ispitno povjerenstvo:

1. Doc. dr. sc. Krunoslav Teslak
2. Prof. dr. sc. Jura Čavlović
3. Doc. dr. sc. Mislav Vedriš

Student: Petar Paljug

JMBAG: 0068217517

Broj indeksa: 1006/18

Datum odobrenja teme: 17.04.2020.

Datum predaje rada: 25.09.2020.

Datum obrane rada: 28.09.2020.

Zagreb, rujan, 2020.

Dokumentacijska kartica

Naslov	Razvoj bukovo – jelove sastojine simulatorom MOSES – etat temeljem prezrele zalihe i prirasta
Title	Development of beech - fir stands with simulator MOSES - etat based on overripe stock and growth
Autor	Petar Paljug
Adresa autora	
Mjesto izrade	Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
Vrsta objave	Diplomski rad
Mentor	Doc.dr.sc. Krunoslav Teslak
Izradu rada pomogao	Doc.dr.sc. Krunoslav Teslak
Godina objave	2020. god.
Obujam	Stranica: 41, slika: 17, tablica: 3
Ključne riječi	bukovo – jelove šume, MOSES simulator, etat, drvena zaliha
Key words	beech - fir forests, MOSES simulator, etat, growing stock
Sažetak	Šume bukve i jele pokrivaju približno 157.000 ha kopnene površine Republike Hrvatske. U ovim šumama provodi se preborni način gospodarenja koji se temelji na obnovi šumske sastojine sječom pojedinačno ili grupno raspoređenih zrelih stabala. Posljednjih nekoliko desetljeća sve je izraženiji problem visokog broja stabala velikog promjera i nedostatka prirodne obnove u bukovo – jelovim šumama. Iz tog razloga se danas češće koriste simulatori razvoja šumskih sastojina u svrhu određivanja optimalnog načina gospodarenja tim šumama. U ovom radu provedeno je simuliranje razvoja strukture bukovo – jelove sastojine pomoću MOSES 3.0 simulatora. Istraživana ploha nalazi se u Gorskom kotaru na području gospodarske jedinice Delnice, odsjek Savića Laz, a prilikom simulacije korišten je scenarij koji se temelji naudjelu velikih stabala dbh > 70 cm i trenutnom periodičnom (desetogodišnjem) prirastu volumena. Prema dobivenim projekcijama zaključeno je da se niti nakon 110 godina u istraživanoj sastojini ne bi uspostavio dovoljan udio manjih stabala jele da se ona na tom području značajnije razvije.

„Izjavljujem da je moj diplomski rad izvorni rezultat mog rada te da se u izradi istoga nisam koristio drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni“.

vlastoručni potpis

Petar Paljug

U Zagrebu, 25.09.2020.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Značajke vrste obična jela (<i>Abies alba</i> Mill.).....	2
1.2 Gospodarenje bukovo-jelovim šumama do 1965. godine	6
1.3 Suvremeno gospodarenje bukovo-jelovim šumama.....	7
1.4 Modeliranje i simulatori razvoja sastojina	7
2. CILJEVI RADA	10
3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA	11
3.1. Bukovo-jelove šume u Republici Hrvatskoj.....	11
3.2. Izmjera i ulazna baza podataka.....	14
3.3. Simuliranje razvoja strukture sastojine pomoću MOSES simulatora.....	15
3.3.1. Način rada MOSES simulatora	15
3.3.2. Odabrani scenarij razvoja strukture sastojine	18
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA.....	22
4.1. Prikaz 3-D simulacije razvoja strukture sastojine	22
4.2. Razvoj elemenata strukture sastojine	24
4.2.1. Broj stabala.....	24
4.2.2. Temeljnica	26
4.2.3. Drvna zaliha	28
4.2.4. Mortalitet	29
4.2.5. Priljev	31
4.2.6. Etat	33
4.3. Pokazatelji dugoročne uspješnosti modela gospodarenja.....	35
4.4. Analiza i vrednovanje modela gospodarenja.....	36
5. ZAKLJUČAK	38
6. LITERATURA.....	40

POPIS SLIKA

Broj slike	NAZIV SLIKE	Str.
Slika 1.	Stablo vrste obična jela (<i>Abies alba</i> Mill.) (izvor: https://plants.ces.ncsu.edu/plants/abies-alba/)	3
Slika 2	Karta rasprostranjenosti vrste obična jela (<i>Abies alba</i> Mill.) prema europskom programu šumskih genetičkih resursa (engl. European Forest Genetic Resources Programme, skraćeno EUFORGEN)	4
Slika 3.	Karta rasprostranjenosti vrste obična jela (<i>Abies alba</i> Mill.) na području Republike Hrvatske prema europskom programu šumskih genetičkih resursa (engl. European Forest Genetic Resources Programme, skraćeno EUFORGEN)	5
Slika 4.	Karta rasprostranjenosti bukovo – jelovih šuma na području Gorskog kotara prema Jelaska (2005)	13
Slika 5.	Glavni dijaloški prozor MOSES simulatora (izvor: MOSES – UserManual)	18
Slika 6.	Boje, uzorci i oblici koji predstavljaju vrste drveća prema MOSES priručniku (s lijeva na desno): ostale listače, smreka, hrast, bor, jela, bukva, pinija, ariš i ostale četinjače	18
Slika 7.	3-D prikaz sastojine nakon četiri koraka simulacije 2052 (tri vrste drveća te mortalitet (crveno) i sječa (sivo))	21
Slika 8.	Prikaz razvoja sastojine (2022, 2052, 2092, 2122 godina) uz primjenu etata određenog temeljem aktualnog prirasta i drvne zalihe iznad 70cm prsnog promjera	22
Slika 9.	Razvoj broja stabala a) jela i b) listača tijekom projekcijskog razdoblja	24
Slika 10.	Razvoj temeljnice a) jela i b) listača tijekom projekcijskog razdoblja	26
Slika 11.	Razvoj drvne zalihe a) jela i b) listača tijekom projekcijskog razdoblja	27
Slika 12.	Mrtvo drvo (sušci) a) po vrstama drveća i b) ukupno po projekcijskim razdobljima	29
Slika 13.	Mrtvo drvo (sušci) prema kontrolnim debljinskim razredima, vrstama drveća i projekcijskim periodama	30
Slika 14.	Priljev stabala a) po vrstama drveća i b) ukupno po projekcijskim razdobljima	31
Slika 15.	Drvna zaliha (volumen) etata a) po vrstama drveća i b) ukupno po projekcijskim razdobljima	33
Slika 16.	Detaljan prikaz razvoja drvne zalihe i etata po vrstama drveća kroz projekcijsko razdoblje	34
Slika 17.	Razvoj drvne zalihe po vrstama drveća u odnosu na teoretsku kroz projekcijsko razdoblje	35

POPIS TABLICA

Broj tablice	NAZIV TABLICE	Str.
Tablica 1.	Debljinski razredi unutar GJ Delnice (Revizija Osnova gospodarenja za G.J. Delnice)	12
Tablica 2.	Uređajni razredi unutar GJ Delnice (Revizija Osnova gospodarenja za G.J. Delnice)	12
Tablica 3.	Podaci strukture i sječe sastojina (inventar 1992., 2002. i 2012.) prema klasnim razredima promjera i strukturi regeneracije sastojine (prilagođeno iz Čavlović i sur., 2020)	14

PREDGOVOR

Zahvaljujem se mentoru doc. dr. sc. Krunoslavu Teslaku na pomoći i strpljenju prilikom izrade ovoga rada. Veliko hvala mojim roditeljima i braći koji su bili moralna ali i financijska potpora za vrijeme cijeloga ovoga studiranja. Hvala također i mojoj djevojci na moralnoj potpori ali i pomoći pri pisanju rada. Hvala svim profesorima i djelatnicima Šumarskog fakulteta na prenesenom znanju i vrijednostima šumarske struke. Zahvaljujem se svim kolegama i prijateljima s kojima sam zajedno prolazio kroz studentske dane te na svim druženjima i nezaboravnim trenucima.

Veliko HVALA svima!

1. UVOD

Republika Hrvatska se svojim kopnenim dijelom proteže na površini od 56.594 km², od čega šume i šumsko zemljište čine čak 46%. Ovaj postotak čini Hrvatsku jednom od zemalja s najvećim šumskim pokrovom u Europi. Ukupna površna šuma i šumskog zemljišta u Republici Hrvatskoj iznosi 2.759.039,05 ha, od čega je 76% u vlasništvu Republike Hrvatske, dok je 24% u vlasništvu šumoposjednika (Šumskogospodarska osnova, 2016). 90% od ukupne površine šuma i šumskog zemljišta čini obraslo šumsko zemljište. Preostali dio čini 7% neobraslog proizvodnog zemljišta, 1% neobraslog neproizvodnog zemljišta te 2% neplodnog zemljišta.

Šume bukve i jele pokrivaju približno 157.000 ha kopnene površine Republike Hrvatske. U prošlosti se njima gospodarilo prema različitim sustavima i načinima. Jedan od načina gospodarenja koji se i danas često koristi je raznodobno gospodarenje koje za cilj ima postizanje mozaične strukture unutar šumske sastojine. Raznodobno gospodarenje koristi se u šumama Srednje Europe te se brojnim istraživanjima pokazalo kao pogodan način gospodarenja dinarskim bukovo – jelovim šumama (*Omphalodo-Fagetum* (Tregubov, 1957) Marinček et al. 1993).

Vukelić (2012) sistematski položaj bukovo – jelovih šuma dinarskog područja objašnjava na sljedeći način:

Razred: *Querco-Fagetea* Br.-Bl. et Vlieger 1937 - europske šume obične bukve, listopadnih vrsta hrasta i plemenitih listača

Red: *Fagetalia sylvaticae* Pawl. in Pawl. et. al. 1928 – europske šume obične bukve, bukve i jele i plemenitih listača

Sveza: *Aremonio-Fagion* (Horvat 1938) Borhidi in Torok, Podani et Borhidi 1989 – ilirske bukve i bukovo – jelove šume

Podsveza: *Lamio-orvale-Fagenion* (Borhidi 1963) Marinček et al. 1993 – ilirske montanske bukove i bukovo jelove šume

As. *Omphalodo-Fagetum* (Tregubov 1957 corr. Puncer 1980) Marinček et al. 1993 – bukovo – jelove šume s mišjim uhom zapadnih Dinarida.

Europske šume obične bukve, listopadnih vrsta hrasta i plemenitih listača najrasprostranjeniji su razred šumske vegetacije u Europi.

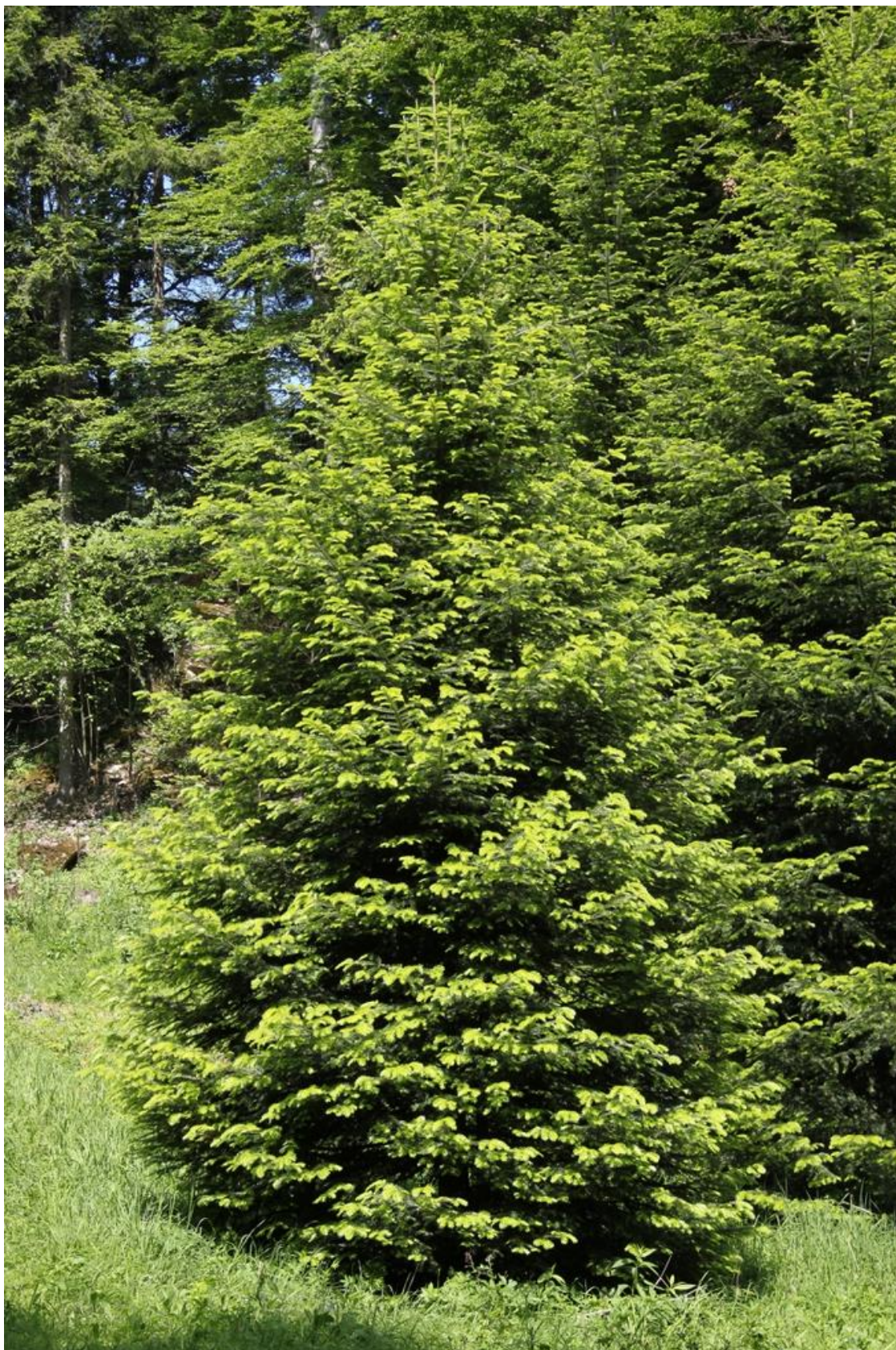
Jedan od oblika raznodobnog gospodarenja je preborno gospodarenje koje se razvilo iz uobičajenog pristupa sječe najvećih pojedinačnih stabala. Glavno obilježje prebornog načina gospodarenja je konstantna i postupna obnova šumske sastojine sječom pojedinačno ili grupno raspoređenih zrelih stabala na površini koja se tretira i njega preostalog dijela sastojine u vremenskim periodima od najčešće 10 godina. Preborno gospodarenje koristi se upravo za bukovo – jelove preborne šume hrvatskih dinarida budući da su brojni radovi pokazali da je jedan od najprirodnijih i najoptimalnijih šumskouzgojnih sustava za taj tip sastojine (Prpić i sur., 1994; Prpić i Seletković, 1996; Schütz, 2001). Preborno gospodarenje danas se koristi na području Srednje Europe i izuzetno je značajno za šumarstvo tog područja.

U Hrvatskoj se preborno gospodarenje koristi ponajviše u šumama jele, uključujući i bukovo – jelove šume. Šumske sastojine u kojima dolazi jela prostiru se na ukupnoj površini od 315.000 ha, što čini cca 12% od ukupne površine šuma i šumskih zemljišta u Hrvatskoj (Čavlović, 2010; Teslak i sur., 2014).

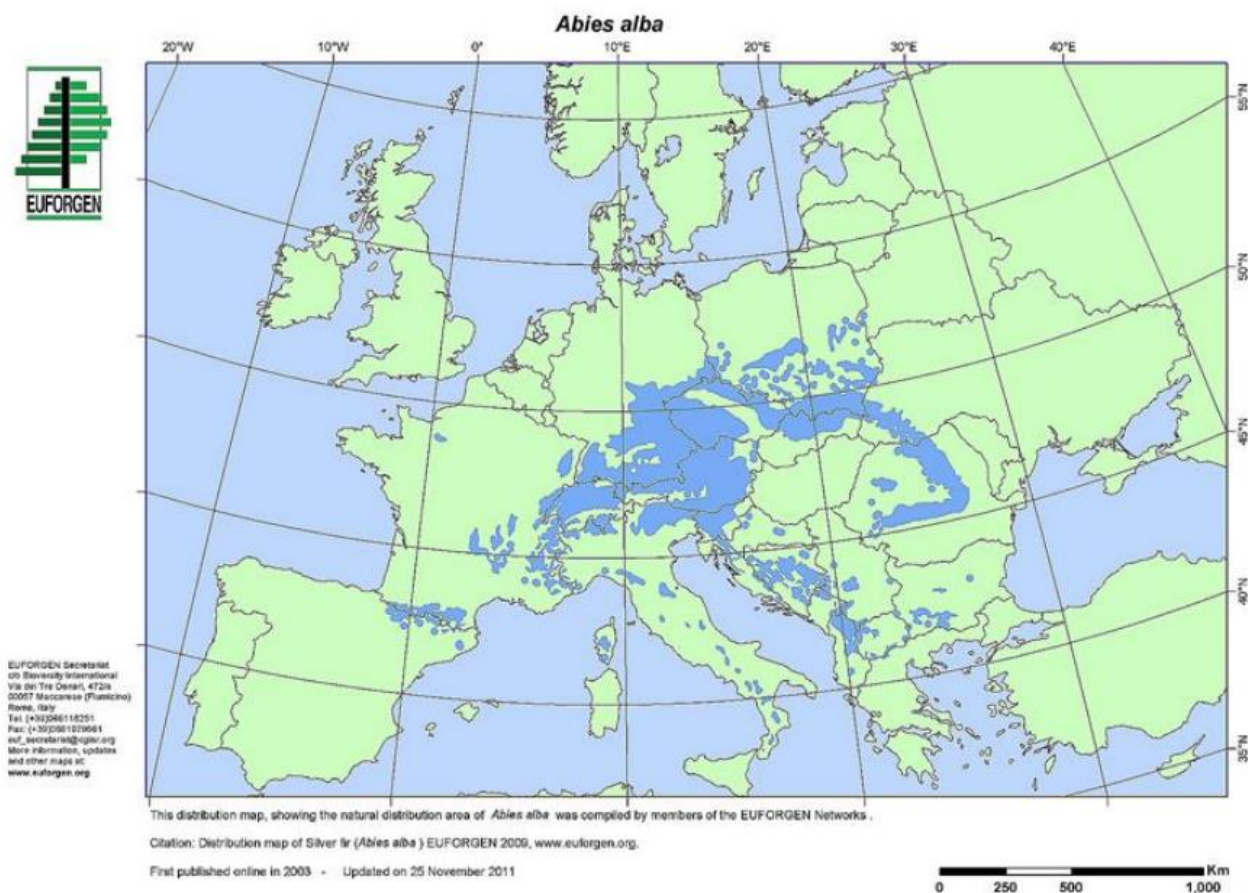
1.1 Značajke vrste obična jela (*Abies alba* Mill.)

Obična jela (*Abies alba* Mill.; slika 1) je vazdazeleno stablo iz porodice borovki (Pinaceae). Najviše je drvo roda jele (*Abies*) u Europi. U optimalnim uvjetima može doseći starost od 500 – 600 godina i visinu stabla do 60 (65) m, a prsni promjer je najčešće između 150 do 200 cm kod odraslih primjeraka (Wolf, 2003). Na izoliranim stablima koja rastu izvan šume cvjetanje počinje sa 25 – 35 godina, dok na stablima unutar šume cvjetanje počinje kasnije, sa 60 – 70 godina. Ova vrsta je jednodomna što znači da se muški i ženski cvjetovi javljaju odvojeno na istom stablu. Cvjetanje se uglavnom odvija između travnja i lipnja, a u rujnu i listopadu iste godine se potpuno razvijeno sjeme raspršuje vjetrom.

Ova vrsta je prirodno rasprostranjena na višim nadmorskim visinama, točnije na planinskim područjima Europe. Najčešće dolazi na visinama od 400 do 1.500 m n.v., a u nekim dijelovima Europe njezin visinski raspon proteže se od 240 do 1.800 m n.v. (Gašparović, 2016). Najbrojnija je na području srednje Europe, a dolazi još i na istočnim, južnim i djelomično na zapadnim područjima (slika 2).



Slika 1. Stablo vrste obična jela (*Abies alba* Mill.) (izvor: <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/abies-alba/>)



Slika 2. Karta rasprostranjenosti vrste obična jela (*Abies alba* Mill.) prema europskom programu šumskih genetičkih resursa (engl. European Forest Genetic Resources Programme, skraćeno EUFORGEN)

U Republici Hrvatskoj obična jela ima dugu tradiciju u šumarstvu i prilično je značajna vrsta u hrvatskim šumama. Gospodarski je važna vrsta prebornih šuma koje u Hrvatskoj zauzimaju gotovo 300.000 ha (Trinajstić i sur., 1992). Jedina je autohtona vrsta jele u Hrvatskoj te je, poslije obične bukve (*Fagussylvatica* L.) i hrasta lužnjaka (*Quercusrobur* L.), najrasprostranjenija vrsta drveća u našem području. Areal obične jele u Hrvatskoj ponajviše zauzima teritorij Gorskog kotara te se s tog područja širi jugoistočno kroz Velebit i Dinaru, a može se pronaći još i na brežuljkastim i gorskim dijelovima sjeverozapadne Hrvatske i na brežuljkastim i gorskim dijelovima između Save i Drave (slika 3).



Slika 3. Karta rasprostranjenosti vrste obična jela (*Abies alba* Mill.) na području Republike Hrvatske prema europskom programu šumskih genetičkih resursa (engl. European Forest Genetic Resources Programme, skraćeno EUFORGEN)

Već dugi niz godina na stablima obične jele javljaju se problemi koji za posljedicu imaju sušenje i propadanje istih te je upravo ova vrsta najoštećenija vrsta šumskog drveća na našem području (Ugarković i sur., 2011). Točni uzroci takvog stanja još uvijek nisu u potpunosti definirani, ali se zna da su posljedica djelovanja biotičkih i abiotičkih čimbenika u okolišu. U prošlosti se kao sekundarni štetnik na stablima pojavio moljac jelovih iglica (*Argyresthia fundella* F.R.), koji je napadao već oštećena stabla i tako povećao veličinu štete na jelovim sastojinama u Hrvatskoj (Matić i sur., 2006). Zbog velikog broja oštećenih stabala obične jele prirast u bukovo – jelovim šumama se izrazito smanjio (Matić i sur., 2006).

S obzirom na činjenicu da je djelovanje okolišnih čimbenika značajno utjecalo na običnu jelu, potrebno je tijekom gospodarenja ovom vrstom imati u vidu raznovrsnost međudjelovanja svih okolišnih čimbenika. Ukoliko se prilikom gospodarenja običnom jelom

previdi navedeno djelovanje, postoji velika mogućnost da dođe do reduciranog razvoja, prirasta, rasta i opstanka ove vrste (Šafar, 1965).

1.2 Gospodarenje bukovo-jelovim šumama do 1965. godine

Povezanost čovjeka i šume prisutna je još od pojave čovječanstva kada su ljudi šumu koristili za sve što im je trebalo (hrana, smještaj, oružje, drvo za potpalu i sl.), a ta prva iskorištavanja šuma bila su neplanska i neorganizirana, bez ikakvih pravila i propisa. Plansko korištenje šuma pojavilo se tek kasnije, a u Hrvatskoj se javilo tijekom 12. stoljeća (Anić i sur., 2012). Od sredine 18. stoljeća formiraju se prve šumarije na području Republike Hrvatske, a 1961. godine akademik Dušan Klepac izdaje članak o metodi uređivanja prebornih šuma na istom području (Anić i sur., 2012).

Šumarstvo se na teritoriju Republike Hrvatske razvijalo pod prilično kompleksnim situacijama. Odnosi unutar države su veliki dio vremena bili izrazito komplicirani, osjetljivi i zatvoreni, a najveći utjecaj na razvoj šumarstva ovdje imali su Habsburška Monarhija, Austrijsko carstvo, Mletačka Republika i Austro – Ugarska uprava (Čavlović, 2013, Šumskogospodarska osnova, 2016). U području gospodarenja prebornim šumama najveći utjecaj je imala Austro – Ugarska, posebno na području Gorskog kotara i Gornjeg Primorja (Frančišković, 1927) te se njihove metode koriste i danas. U prošlosti su se također koristile sječe šumskih sastojina sačinjenih pretežito od vrste obična jela, a sječa se provodila samo na zrelim (starijim) stablima. Kako bi se provodilo što kvalitetnije gospodarenje prebornim šumama, prije su se koristile i metode povećanja udjela četinjača u tim istim šumama.

Preborno gospodarenje šumama se u periodu Drugog svjetskog rata u Hrvatskoj slabije koristilo, ali je nakon rata ponovno aktualizirano u jelovim šumama (Klepac, 1961). Klepac (1961) odmah uočava jedan problem, a to je nemogućnost pokretanja procesa transformacije u šumskim sastojinama jednodobne strukture onda kada je sječa u iznosu jednaka prirastu. Upravo iz tog razloga Klepac je napravio model unutar kojeg je uveo korekciju s obrastom sastojine prilikom određivanja sječe te je na koncu taj model postao univerzalan odnosno primjenjiv za sve šume jele. Model je bio dugoročno primjenjiv, čak i nakon uspostave optimalnog stanja predstavljenog BDq modelom (Teslak i sur., 2014).

1.3 Suvremeno gospodarenje bukovo-jelovim šumama

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća uočeni su negativni trendovi u strukturi šumskih sastojina bukovo – jelovih šuma na području Hrvatske, ali i u drugim zemljama Srednje Europe. Promjene u strukturi sastojina očitovale su se kroz povećanje ukupnog udjela jelovine u drvnj zalihi, porast drvnih zaliha pretežno velikih i slabo vitalnih stabala jele, odumiranje jele i lošu ili nikakvu regeneraciju jele (Čavlović i sur., 2020). Intenzivnim istraživanjem dinaridskih bukovo – jelovih šuma u Hrvatskoj, Čavlović i sur. (2006) otkrili su značajnu negativnu korelaciju između regeneracije jele i količine velikih stabala temeljnice. Pretpostavka da je glavni uzrok ovakve dinamike sastojina niska posjećenost pojedinih stabala jele u dinaridskim bukovo – jelovim šumama dovela je do novih propisa za gospodarenje šumama u Hrvatskoj u 2006. godini (Pravilnik o uređivanju šuma, „Narodne novine“ 111/2006). Tako je propisan maksimalno dopušteni desetogodišnji intenzitet sječa do 30% drvene zalihe u bukovo – jelovim šumama s ciljem pokretanja regeneracije sastojina i poboljšanja strukture sastojina. Intenzitet sječe je povećan uz redukciju prestarih stabala jele i postepenog povećanja listača, prvenstveno javora i bukve. Prostorna raspodjela sječe nije definirana te se i dalje provodi sječa pojedinačnih stabala (Teslak i sur., 2014).

1.4. Modeliranje i simulatori razvoja sastojina

Modeliranje i simulatori razvoja šumskih sastojina su se znatno intenzivirali u posljednjih nekoliko desetljeća, kako u svijetu tako i u Hrvatskoj. Još u 19. stoljeću pojavile su se prvi pokušaji procjene budućeg prirasta šumskih sastojina i to uz pomoć volumnih i prirasno prihodnih tablica. Budući da se u Hrvatskoj u to vrijeme malo tko bavio modeliranjem u šumarstvu, najčešće su se koristile tablice koje su izradili strani znanstvenici. Naši znanstvenici su prve tablice počeli razvijati u 20. stoljeću te se one kroz njegovu drugu polovicu sve češće počinju koristiti (Marjanović, 2009). Jedan od najpoznatijih znanstvenika tog doba je svakako Dušan Klepac koji je 1963. godine izdao knjigu u kojoj je detaljno analizirao i elaborirao problematiku rasta i prirasta svih glavnih vrsta šuma u Hrvatskoj, što je pripomoglo u razvoju modela i simulatora razvoja naših šumskih sastojina.

Modeli rasta i razvoja sastojine predstavljaju korisni alat u gospodarenju šumama, temelje se na trajnim pokusnim plohama koje služe kao podloga za stvaranje matematičkih modela rasta i prirasta (Hasenauer, 2006a), a najstariji poznati modeli u šumarstvu su prirasno

prigodne tablice (Marjanović, 2009). Postoje brojni matematički modeli koji se danas koriste u postupcima uređivanja šuma, a možemo ih podijeliti u šest većih grupa:

1. prirasno – prigodni modeli,
2. sukcesijski „gap“ modeli,
3. ekološki modeli po odjeljcima,
4. procesni/mehanistički modeli,
5. modeli distribucije vegetacije i
6. hibridni modeli.

Glavni nedostatak prirasno – prihodnih tablica je nemogućnost uzgojnih postupaka i to što su uglavnom prilagođene čistim sastojinama (Beljan, 2015).

Razvojem tehnologije razvila su se brojna snažna moderna računala koja su postala puno pristupačnija posljednjih godina. Samim time modeli su se počeli razvijati u računalnom smjeru i danas se uglavnom unapređuju već postojeći modeli (Marjanović, 2009; Porté i Bartelink, 2002). U šumarstvu je također izuzetno bitna i simulacija razvoja šuma. Ona je posebno značajna u trenutku planiranja radova u šumarstvu.

Vezano za bukovo – jelove šume, postoje brojni modeli gospodarenja. Glavnina se razvila, kako je već spomenuto, nakon Drugog svjetskog rata, u razdoblju od 1960. do 1980. godine (Beljan, 2015). Božić (2003) navodi da je rast i prirast stabala obične jele moguće uspješno modelirati kao funkciju stanišnih i sastojinskih elemenata. Prednost ovog modela je značajno skraćivanje vremena utrošenog na analizu, a glavni nedostatak je nepotpuno i nesavršeno predviđanje budućih karakteristika šume (Beljan, 2015). Svaki simulator, u okvirima svih svojih mogućnosti, može predvidjeti budući razvoj šumskih sastojina prilikom promjena osnovnih čimbenika (sastojinskih, stanišnih i ekonomskih) (Beljan, 2015).

Uzevši u obzir ulazne podatke te točnost i preciznost predviđanja, simulatore šuma dijelimo u dvije skupine koje se mogu koristiti za simuliranje na razini sastojine (Beljan, 2015):

1. simulatori temeljeni na prosječnim podacima šumske sastojine (engl. *simulators based on stand-level models*) kod kojih se ulazni podaci odnose na srednje sastojinsko stablo (vrsta, starost, prsni promjer, maksimalni prsni promjer, temeljnica po hektaru, visina, distribucija prsnih promjera) i

2. simulatori temeljeni na individualnom stablu (engl. *simulators based on tree-level models*) kod kojih su ulazni podaci koordinate stabala u relativnom koordinatnom sustavu, vrsta drveća, prsni promjer, visina i visina krošnje za svako stablo u sastojini. Ova dva simulatora imaju različitu točnost predviđanja. Simulatori temeljeni na individualnom stablu imaju prednost koja se očituje u tome što uzimaju u obzir konkurenciju među stablima što utječe na rast i prirast sastojine (Beljan, 2015), a jedan od najboljih predstavnika ove skupine simulatora je MOSES (Hasenauer, 1994; Hasenauer, 2000; Hasenauer, 2006b; Steinmetz, 2003).

2. CILJEVI RADA

Tijekom posljednjih nekoliko desetljeća uočeni su negativni trendovi u strukturi šumskih sastojina dinaridskih bukovo – jelovih šuma Hrvatske te je otkrivena značajna negativna korelacija između regeneracije jele i količine stabala velike temeljnice. Kao glavni uzrok takve dinamike sastojina određen je niski intenzitet sječa, posebno stabala jele u bukovo – jelovim šumama.

Temeljni cilj projekcije razvoja (simulacije) je provjeriti utjecaj odabranog scenarija obilježenog modelom određivanja etata i virtualnog provođenja sječa na razvoj sastojine. Detaljnije to znači koliko će vremenski brzo i strukturno uspješno primjena pojedinog modela gospodarenja (u ovom radu modela obilježenog sječom iznosom jednako drvnoj zalihi stabala promjera većeg od 70 cm i cijeloga iznosa aktualnog volumnog prirasta) uravnotežiti strukturu sastojine odnosno približiti je zadanom ili odabranom teoretskom modelu (normali).

Uspješnost modela možemo promatrati kroz stanje pomlađivanja, priljev stabala, debljinsku strukturu, odnos vrsta, mortalitet i slično. S obzirom na važnost pomlađivanja za preborno gospodarenje te postojeće stanje struktura sastojina bukovo-jelovih šuma, pojedinačni ciljevi ovog rada su sljedeći:

- istražiti primijenjenu metodu određivanja etata na razvoj šumske sastojine bukovo – jelovih šuma u Hrvatskoj,
- simulacijama dugoročnog razvoja istražiti posljedice primjene etata određenog klepčevom formulom (etat jednak stvarnom prirastu korigiranim s faktorom obrasta) na razvoj strukture (pomlađivanje, mortalitet, debljinsku strukturu, omjer smjese) bukovo-jelovih šuma Gorskog kotara,
- ispitati i raspraviti eventualne nedostatke postavljenog modela,
- usporediti dobivene rezultate sa sličnim provedenim analizama i simulacijama.

Temeljem široke analize dugoročnog razvoja sastojine cilj je sagledati primjenjivost modela u operativnoj praksi, posebno u transformaciji sastojina prelaznih i narušenih struktura u strukturno optimalne raznodobne, preborne bukovo-jelove šume.

3. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA

3.1. Bukovo-jelove šume u Republici Hrvatskoj

Kao što je ranije spomenuto, bukovo – jelove šumske sastojine pokrivaju približno 157.000 ha kopnene površine Republike Hrvatske, odnosno 12% ukupne površine šuma u Hrvatskoj, te 9,4% drvene zalihe (Čavlović, 2010). Obična jela (*Albies alba* Mill.) se u Hrvatskoj pojavljuje ponajviše na području Gorskog kotara, od kojeg se prostire područjem Velebita i Dinare, te na istoku i na sjeverozapadu Hrvatske gdje boravi na brežuljkastim i gorskim mjestima.

Geološka podloga koju ova vrsta preferira i na kojoj se ona u Hrvatskoj nalazi odnosi se prvenstveno na dolomite i karbonate na lesiviranim tlima, smeđim karbonatnim tlima i karbonatnim crnicama, a može uspjeti na manje-više svim nagibima (Alegro, 2000). Dominantna drvenasta vrsta ovog područja je obična bukva (*Fagussylvatica* L.), koju smo već ranije spomenuli kao jednu od najbrojnijih vrsta drveća u Republici Hrvatskoj, a uz nju su prisutne i vrste poput gorskog javora (*Acerpseudoplatanus* L.) i gorskog brijesta (*Ulmusglabra*Huds.). U sloju grmolikih vrsta vrlo često uz ove vrste možemo pronaći ilikovac (*Daphnemezereum* L.), a u sloju niskog rašća rastu mnogobrojne ilirske vrste koje su i inače prisutne u brdskim bukovim šumama (Alegro, 2000).

Ovo istraživanje provedeno je na bukovo – jelovim šumama u regiji Gorski Kotar, u gospodarskoj jedinici Delnice, šumarija Delnice. Unutar gospodarske jedinice Delnice nalazi se odsjek 60a u predjelu Sovića Laz. Unutar navedenog odsjeka nalazi se trajna pokusna ploha Šumarskog instituta, Jastrebarsko veličine 0,5 ha. Ophodnjica je 10 godina, a u sastojini dominiraju zrela stabla jele.

Gorski kotar značajan je po količinama bukovo – jelovih šuma koje su dominantne na tom području i predstavlja apsolutni centar prebornog gospodarenja na našem području. Površina područja kojeg zauzima gospodarska jedinica Delnice iznosi 3.563,34 ha, od čega više od 50 % čine stabla obične jele (tablica 1.), a najveći prirast područja čine upravo preborne šume (tablica 2.).

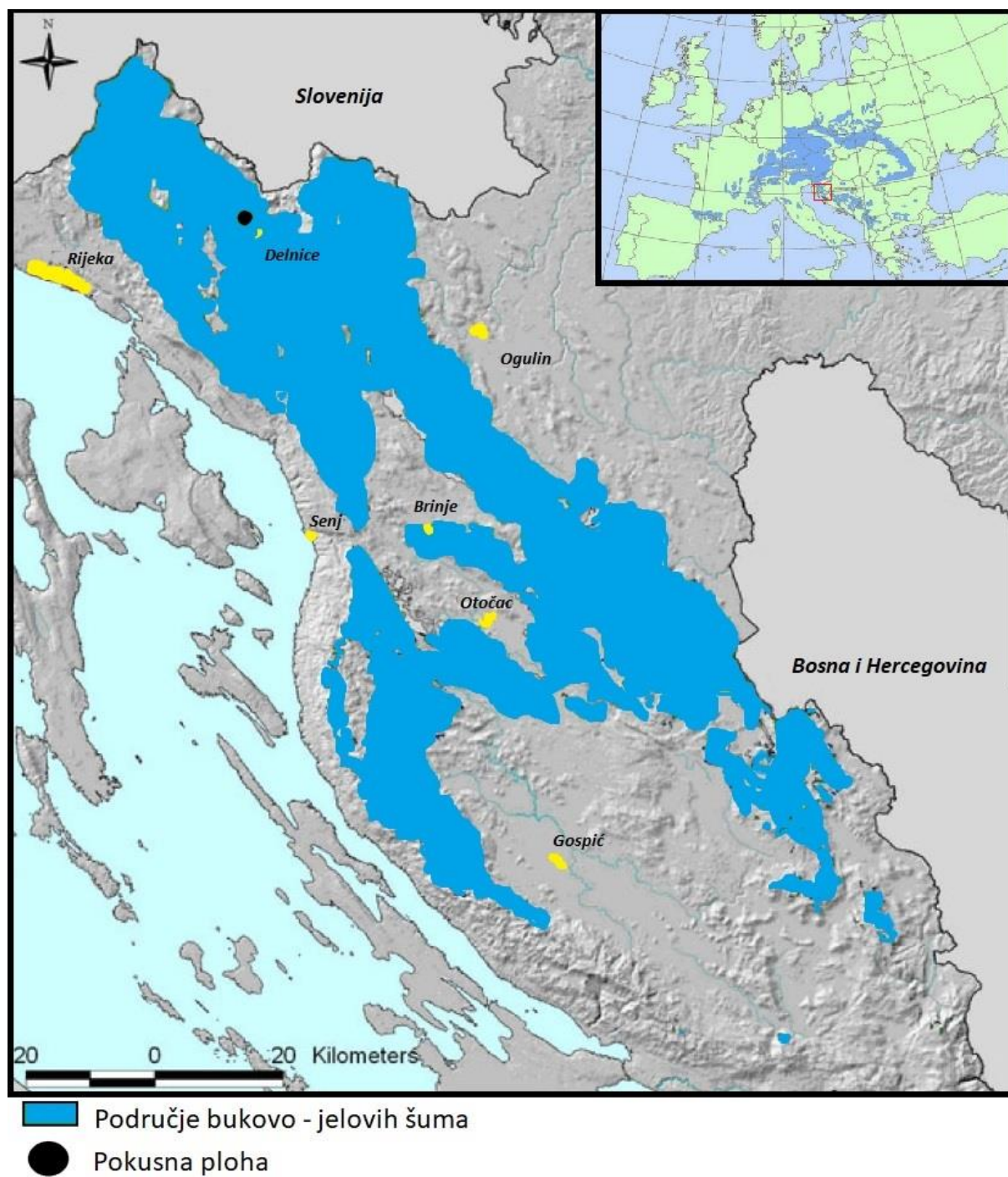
Tablica 1. Debljinski razredi unutar GJ Delnice (Revizija Osnova gospodarenja za G.J. Delnice)

Vrsta drveća	10 - 30		31 - 50		> 50		Σ		Prirast		Omjer smjese
	m ³	Prir. m ³	m ³	Prir. m ³	m ³	Prir. m ³	m ³	m ³ /ha	m ³	m ³ /ha	
Bukva	141977	6117	234356	5599	80367	1322	456700	128	13038	3,66	32,11
G javor	15330	616	42467	1006	11845	197	69642	19	1819	0,51	4,90
OTB	769	34	1270	32	702	13	2741	1	79	0,02	0,19
Σ bjelog.	158076	6767	278093	6637	92914	1532	529083	148	14936	4,19	37,20
Jela	31193	813	151337	2342	626487	6623	809098	227	9779	2,75	56,88
Smreka	15634	431	28301	458	40051	441	83905	24	1329	0,37	5,90
C bor	43	1	185	2	39	1	267	-	4	-	0,02
Σ crnog.	46870	1245	179823	2802	666577	7065	893270	251	11112	3,12	62,80
Ukupno	204946	8012	457916	9439	759491	8597	1422353	399	26048	7,31	100,00

Tablica 2. Uredajni razredi unutar GJ Delnice (Revizija Osnova gospodarenja za G.J. Delnice)

UREĐAJNI RAZRED	površina		drvena zaliha		prirast	
	ha	%	m ³	%	m ³	%
PREBORNE - GOSPODARSKE						
sjemenjače jele i bukve	3408,63	94,9	1371688	96,1	25027	95,5
PREBORNE – ZAŠTITNE						
sjemenjače jele i bukve, zaštita vodenih tokova	87,26	2,4	19011	1,3	503	1,9
sjemenjače jele i bukve, zaštita pjevališta V tetrijeba	15,21	0,4	5297	0,3	120	0,5
PREBORNE – POSEBNE NAMJENE						
Jela i bukva, posebni rezervat šumske vegetacije	52,24	1,5	26357	1,8	398	1,5
UKUPNO PREBORNE	3563,34	99,2	1422353	99,5	26048	99,4
JEDNODOBNE – GOSPODARSKE						
Kulture smreke	28,47	0,8	6488	0,5	163	0,6
UKUPNO JEDNODOBNE	28,47	0,8	6488	0,5	163	0,6
SVEUKUPNO	3591,81	100,0	1428841	100,0	26212	100,0
Neobraslo proizvodno	1,52					
Sveukupna proizvodna površina	3593,33					

Gospodarska jedinica Delnice nalazi se u blizini grada Delnice, na području nadmorske visine 680 – 710 m. Na području prevladava umjerena kontinentalna klima, koja na nekim dijelovima ponekad prelazi u planinsku. Najviše temperature su tijekom srpnja i kolovoza, a najniže tijekom siječnja i veljače. Ovo područje karakterizira visoka prosječna srednja godišnja relativna vlaga koja iznosi gotovo 85%.



Slika 4. Karta rasprostranjenosti bukovo – jelovih šuma na području Gorskog kotara prema Jelaska (2005)

3.2. Izmjera i ulazna baza podataka

Pokusna ploha na području gospodarske jedinice Delnice je uspostavljena 1992. godine te su zabilježena sva stabla neovisno o razvojnem stadiju. Nakon toga, stabla su evidentirana ponovno 2002. i 2012. godine. Detaljna mjerenja i procjene uključivale su numeriranje i označavanje drveća, određivanje prsnog promjera, visine, visine baze krošnje, položaj stabla u koordinatnom sustavu, vitalnost stabla i strukturu asortimana, a zabilježena su i prosječna stabla zajedno sa godinom njihove sječe. Ovako detaljne analize provodile su se na stablima čiji je DBH veći od 10 cm. Prsni promjeri izmjereni su i za mladice i mlado drveće (0,1 do 10 cm DBH), dok su se sadnice grupirale u dvije visinske klase: male sadnice (0,1 do 0,5 m) i visoke sadnice (0,51 do 1,3 m). Podaci o strukturi i sječi sastojina predmetne plohe dobiveni tijekom popisivanja 1992., 2002. i 2012. godine prikazani su u tablici 3.

Tablica 3. Podaci strukture i sječe sastojina (inventar 1992., 2002. i 2012.) prema klasnim razredima promjera i strukturi regeneracije sastojine (prilagođeno iz Čavlović i sur., 2020)

		Godina inventarizacije											
		1992				2002				2012			
		Debljinski razredi (cm)											
		10-30	31-50	>50	Σ	10-30	31-50	>50	Σ	10-30	31-50	>50	Σ
Obična jela	N (ha ⁻¹)	25	36	78	139	26(6)	22(0)	92(11)	140(17)	23(6)	22(3)	81(14)	126(22)
	BA (m²ha ⁻¹)	0.88	4.96	22.78	28.62	1.05(0.31)	2.88(0)	28.59(4.02)	32.54(4.33)	0.86(0.16)	3.38(0.48)	27.57(6.58)	31.81(7.22)
	GV (m³ha ⁻¹)	8.67	71.23	381	460.9	11.33(3.88)	40.97(0)	493.38(71.99)	545.68(75.87)	9.68(1.49)	50.69(7.84)	490.26(121.82)	550.63(131.15)
	dbh (cm)	21	41.48	60.58		20.28	40.46	61.86		22.65	43.41	63.02	
	Ss (ha ⁻¹)				NA				0				0
	Ts (ha ⁻¹)				NA				0				0
	Sap (ha ⁻¹)				0				0				0
Yt (ha ⁻¹)				3				3				0	
Obična bukva	N (ha ⁻¹)	319	8	0	327	339(58)	22(0)	0.0(0)	361(58)	297(53)	30(8)	0(0)	327(61)
	BA (m²ha ⁻¹)	6.65	0.67	0	7.32	7.79(1.35)	1.97(0)	0.0(0)	9.76(1.35)	7.64(1.44)	3.43(1.08)	0.0(0)	11.07(2.52)
	GV (m³ha ⁻¹)	51.73	8.17	0	59.9	70.8(12.15)	26.63(0)	0.0(0)	96.96(12.15)	80.63(14.44)	51.91(16.75)	0.0(0)	132.54(31.19)
	dbh (cm)	15.62	31.92			16.41	33.47			17.18	36.46		
	Ss (ha ⁻¹)				NA				44				45
	Ts (ha ⁻¹)				NA				55				48
	Sap (ha ⁻¹)				4				69				61
	Yt (ha ⁻¹)				194				152				122
Ostale vrste	N (ha ⁻¹)	22	22	6	50	11(3)	34(6)	6(3)	51(12)	6(3)	31(3)	3(0)	40(6)
	BA (m²ha ⁻¹)	0.96	2.25	1.13	4.34	0.41(0.05)	3.52(0.68)	1.24(0.58)	5.17(1.31)	0.22(0.05)	3.44(0.34)	0.74(0.00)	4.40(0.39)
	GV (m³ha ⁻¹)	10.37	30.3	17.96	58.63	4.67(0.27)	57.73(10.71)	11.07(9.81)	73.47(20.29)	2.69(0.21)	56.89(5.42)	12.71(0.00)	72.29(5.63)
	dbh (cm)	22.53	35.84	50.88		8.61	22.52	37.61		27.55	37.38	58.15	
	Ss (ha ⁻¹)				NA				155				156
	Ts (ha ⁻¹)				NA				3				3
	Sap (ha ⁻¹)				0				0				0
	Yt (ha ⁻¹)				3				0				3
UKUPNO	N (ha ⁻¹)	366	66	84	516	376(67)	78(6)	98(14)	552(87)	326(62)	83(14)	84(14)	493(89)
	BA (m²ha ⁻¹)	8.49	7.88	23.91	40.28	9.25(1.71)	8.37(0.68)	29.83(4.60)	47.47(6.99)	8.72(1.65)	10.25(1.90)	28.31(6.58)	47.28(10.13)
	GV (m³ha ⁻¹)	70.77	109.7	398.96	579.43	86.80(16.30)	125.33(10.71)	504.45(81.80)	716.11(108.81)	93.00(16.14)	159.49(30.01)	502.97(121.82)	755.46(167.97)

Brojevi inventara za 2002. i 2012. u zagradama označavaju količine sječe; N - broj stabala; BA - temeljnica; struktura regeneracije: Ss - male sadnice (do 0,50 m), Ts - visoke sadnice (0,51-1,30 m), Sap - mladice (0,1-5,0 cm dbh) i Yt - mlado drveće (5,1-10,0 cm dbh)

Svi podaci i sve izmjere sa pokusne plohe uneseni su u program i korišteni su u simulaciji.

3.3. Simuliranje razvoja strukture sastojine pomoću MOSES simulatora

3.3.1. Način rada MOSES simulatora

MOSES (engl. Modeling stand response) je softver za simulaciju razvoja šuma koji se temelji na statističkom modeliranju šumskih sastojina mješovitih vrsta, a razvijen je od strane Instituta za rast šuma, BOKU (njem. Universität für Bodenkultur) Beč, Austrija. Model se sastoji od nekoliko komponenata: modela povećanja promjera, modela visine, modela dinamičke krošnje, modela smrtnosti i modela regeneracije (Hasenauer, 2000). Svako stablo predstavljeno je visinom, prsnim promjerom (DBH), donjim dijelom krošnje i položajem u relativnom koordinatnom sustavu. Ovaj softver podržava maksimalno 40 simulacijskih ciklusa koji se odvijaju u vremenu od ukupno 200 godina.

Za početak, u program je potrebno unijeti sve izmjerene i zabilježene podatke o pokusnoj plohi. Unosi se broj vrsta unutar promatrane šumske sastojine, koje se u programu prikazuju kao specifične odvojene linije, a potom se unose specifikacije individualnih stabala. Svaka vrsta drveća ima datoteku s koeficijentima koja određuje koeficijente rasta i smrtnost. Prvo se, uz pomoć koeficijenata, računa dominantna visina. Funkcija dominantne visine izračunava potencijalnu visinu stabla. Za običnu bukvu i ostale četinjače izračun provodi preko formule:

$$\begin{aligned}b &= a_0 + a_1 \ln(SI) + \ln^2(SI) \\c &= a_3 + a_4 \ln(SI) + a_5 \ln^2(SI) \\a &= \ln(SI) - b \ln(100) - c \ln^2(100) \\OH &= e^{a + b \ln(t) - c \ln^2(t)}\end{aligned}$$

Za običnu jelu i ostale listače izračun provodi preko formule:

$$OH = (a_0 + a_1 SI + a_2 SI^2) (1 - e^{-(a_3 + a_4 SI + a_5 SI^2)t})^{\frac{1}{1 - (a_6 + a_7 SI)}}$$

gdje je OH – dominantna visina, SI – indeks lokacije, t – dob, $a_0 \dots a_7$ – koeficijenti.

Obujam stabla računa se preko formule:

$$\begin{aligned}f &= a_0 + a_1 \ln^2(d) + \frac{a_2}{h} + \frac{a_3}{d} + \frac{a_4}{d^2} + \frac{a_5}{d \cdot h} + \frac{a_6}{d^2 \cdot h} \\V &= \frac{d^2 \pi}{4} \cdot h \cdot f\end{aligned}$$

gdje je V – obujam stabla, d – DBH, h – visina, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Potencijalni obujam stabla računa se preko formule:

$$id_{pot} = a_0 h^{a_1}$$

gdje je id_{pot} – potencijalni obujam stabla, h – visina, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Promjer krošnje stabla računa se preko formule:

$$kd = a_0 h^{a_1}$$

gdje je kd – promjer krošnje, h – visina, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Povećanje promjera stabla računa se preko formule:

$$id = \frac{id_{obs}}{id_{pot}} = CR^{a_0} \left(1 - e^{\frac{a_1}{ci \cdot cut(1+a_2 \cdot d \cdot ci)}} \right) + a_3 RN$$

gdje je id – povećanje promjera tijekom simulacijskog ciklusa od 5 godina, CR – omjer krošnje, $cicut$ – kompeticijski indeks razvoja krošnje, dci – razlika kompeticijskog indeksa prije i nakon razvoja krošnje, RN – raspoređeni slučajni broj, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Povećanje visine stabla računa se preko formule:

$$ih = \frac{ih_{obs}}{ih_{pot}} = CR^{a_0} \left(1 - e^{\frac{a_1}{ci \cdot cut(1+a_2 \cdot d \cdot ci)}} \right) + a_3 RN$$

gdje je ih – povećanje visine tijekom simulacijskog ciklusa od 5 godina, CR – omjer krošnje, $cicut$ – kompeticijski indeks razvoja krošnje, dci – razlika kompeticijskog indeksa prije i nakon razvoja krošnje, RN – raspoređeni slučajni broj, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Promjene u donjem dijelu krošnje računaju se prema formuli:

$$\Delta HLC = a_0 h^{a_1} e^{a_2 \sqrt{CR} + \frac{a_3}{ci} + a_4 d}$$

gdje je ΔHLC – promjena donjeg dijela krošnje, h – visina, CR – omjer krošnje, ci – kompeticijski indeks, d – DBH, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Mortalitet se računa preko formule:

$$p = \frac{1}{1 + e^{a_0 + a_1 cicut + a_2 CR + a_3 bhd + a_4 \frac{1}{bhd}}}$$

gdje je p – vjerojatnost mortaliteta, $cicut$ – kompeticijski indeks razvoja krošnje, CR – omjer krošnje, bhd – DBH, $a_0...a_7$ – koeficijenti.

Regeneracija sastojine računa se prema formuli:

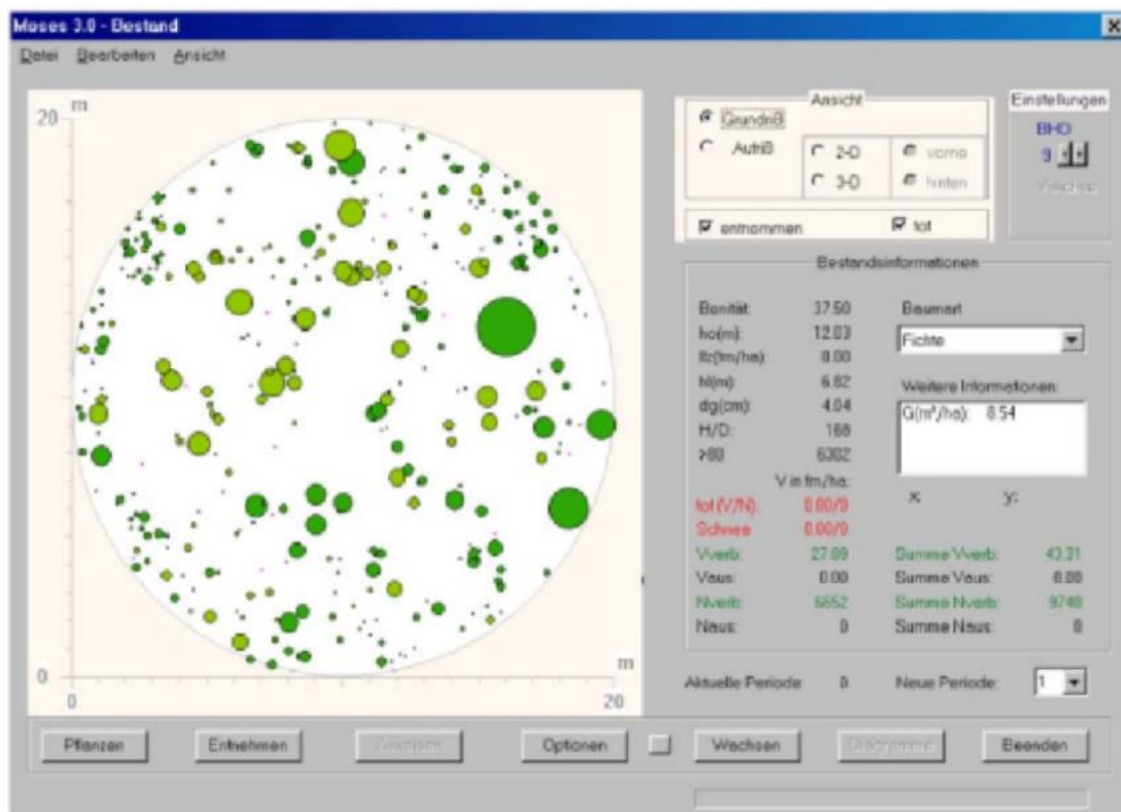
$$Konk = \sum (a_0 \cdot mBhd)^{a_1} n_{rep} a_2 \frac{1}{10000}$$

$$mBhd = \begin{cases} bhd + 1.3 & : h > 1.3m \\ h & : h \leq 1.3m \end{cases}$$

$$p = \frac{1}{1 + e^{-b_0 bhd_{max} - b_1 Konk - b_{humustyp}}}$$

gdje je Konk – kompeticija, mBhd – modificirani DBH, bhd – DBH, h – visina, n_{rep} - faktor za pretvaranje u vrijednosti po hektaru, bhd_{max} – maksimalni DBH matičnog stabla, $b_{humustyp}$ – tip humusa, p – vjerojatnost regeneracije, $a_0...a_7$ – koeficijenti. Konačna vrijednost daje maksimalni očekivani broj regenerirajućih sadnica po hektaru za tu vrstu.

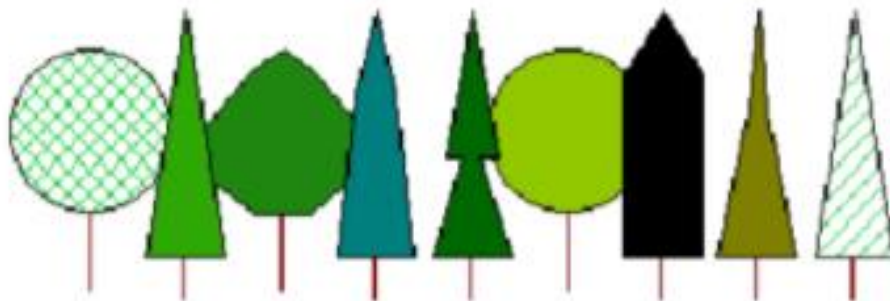
Kada se softver pokrene, pojavljuje se prvi dijaloški prozor za odabir podatkovne datoteke koja će se koristiti u simulaciji i tada se otvara drugi prozor, glavni dijaloški prozor, koji ilustrira odabranu sastojinu i pripadajuće detalje (slika 5).



Slika 5. Glavni dijaloški prozor MOSES simulatora

Zadani prikaz je karta sastojine. Ovaj će se prikaz pojaviti kad god se softver pokrene, a omogućuje korisničku interakciju. Svaka vrsta drveća prisutna u sastojini prikazana je u jedinstvenoj boji i uzorku ispune koji ostaju isti bez obzira na druge čimbenike. Pojedinačna stabla mapirana su kao krugovi, a njihov prsni promjer predstavljen je promjerom kruga.

Prikaz karte sastojine može se promijeniti u bočni prikaz visine, a bočna kota može biti u 2-D ili 3-D prikazu. Stabla s visinskim prikazom prikazana su u svojoj specifičnoj boji ispune i uzorku te također imaju karakterističan oblik (slika 6).



Slika 6. Boje, uzorci i oblici koji predstavljaju vrste drveća prema MOSES priručniku (s lijeva na desno): ostale listače, smreka, hrast, bor, jela, bukva, pinijska, ariš i ostale četinjače

Dijaloški okvir također sadrži dva okvira za označavanje koja (kada se označe) ističu ona stabla koja su odvojena / uklonjena berbom ili koja su mrtva. Stabla uklonjena sječom bit će označena sivom bojom, a mrtva stabla crvenom bojom. Poništavanjem označavanja okvira sastojina se vraća u svoj izvorni prikaz. Istaknuta su i prikazana samo stabla koja su uklonjena ili uginula u najnovijem simulacijskom ciklusu. Sva prethodna uklanjanja ili smrti ne mogu se prikazati, jer su ta stabla već eliminirana iz simulacije.

Pojedinosti odabrane šumske sastojine izračunavaju se nakon svakog simulacijskog ciklusa i mogu se prikazati ili prema vrstama drveća ili kombinirati za sve vrste.

3.3.2. Odabrani scenarij razvoja strukture sastojine

Za ovaj rad izabran je određeni scenarij razvoja strukture sastojine obilježen zasebnim modelom određivanja etata temeljem kojeg će se virtualno u simulatoru provoditi sječa

stabala i posljedično tome simulator provodi daljnje simulacije razvoja cjelokupne strukture sastojina.. Općenito se scenariji u simulacijama razvoja šumskih sastojina između ostalog mogu razlikovati i prema načinu izračuna iznosa preborne sječe. Uz to mogu se razlikovati po intenzitetu prirasta, dinamici obnove, mortaliteta i slično no to nije bilo predmet ovoga istraživanja.

Osim regeneracije, prirasta i mortaliteta drveća, količina i prostorna raspodjela sječe smatra se glavnim čimbenikom koji utječe na strukturu i razvoj sastojine. Sječom se planira promijeniti struktura promjera i posljedično tome rast i obnova drveća. Sukladno tome, različitim pristupima u količini i raspodjeli posječenog drveća, razvijena su tri scenarija upravljanja:

Scenarij 1 - temelji se razvoju bukovo-jelove sastojine simulatorom temeljem klepčeve formule.

Scenarij 2 – temelji se razvoju bukovo-jelove sastojine simulatorom temeljem teoretskog prirasta.

Scenarij 3 - – temelji se razvoju bukovo-jelove sastojine simulatorom temeljem prezrele zalihe i prirasta, odnosno uvažava udio velikih stabala ($dbh > 70$ cm) i trenutni periodični (desetogodišnji) prirast volumena.

Za projekciju razvoja sastojine u ovom radu odabran je model prema scenariju 3, koji se temelji na određivanju iznosa etata temeljem udjela velikih, prezrelih stabala i desetogodišnjeg prirasta. Formula koja se koristi u ovom scenariju, a koja krucijalno utječe na razvoj simulirane strukture sastojine odnosno uz koju se simulira razvoj šumske sastojine glasi:

$$CA_{sc3} = Iv_P + gv_{DBH>70cm}$$

gdje je CA_{sc3} – količina sječe prema scenariju 3, gv_{DBH} – volumen velikih stabala koji imaju DBH (prsni promjer) veći od 70 cm.

Razvoj strukture sastojine simuliran je za 11 budućih desetljeća s 10-godišnjim ciklusima rezanja. Kao rezultat predviđanja gospodarenja i projicirane strukture sastojine primjenom izabranog scenarija dobiveni su sljedeći podaci: prsni promjer, visina stabla, priliv stabala te količina i rasprostranjenost posječenih ili odumrlih stabala. Iz ovih podataka koje dobijemo svakim korakom projekcije mogu se izračunati i svi ostali podaci kao što su temeljnica, prirast i drvna zaliha.

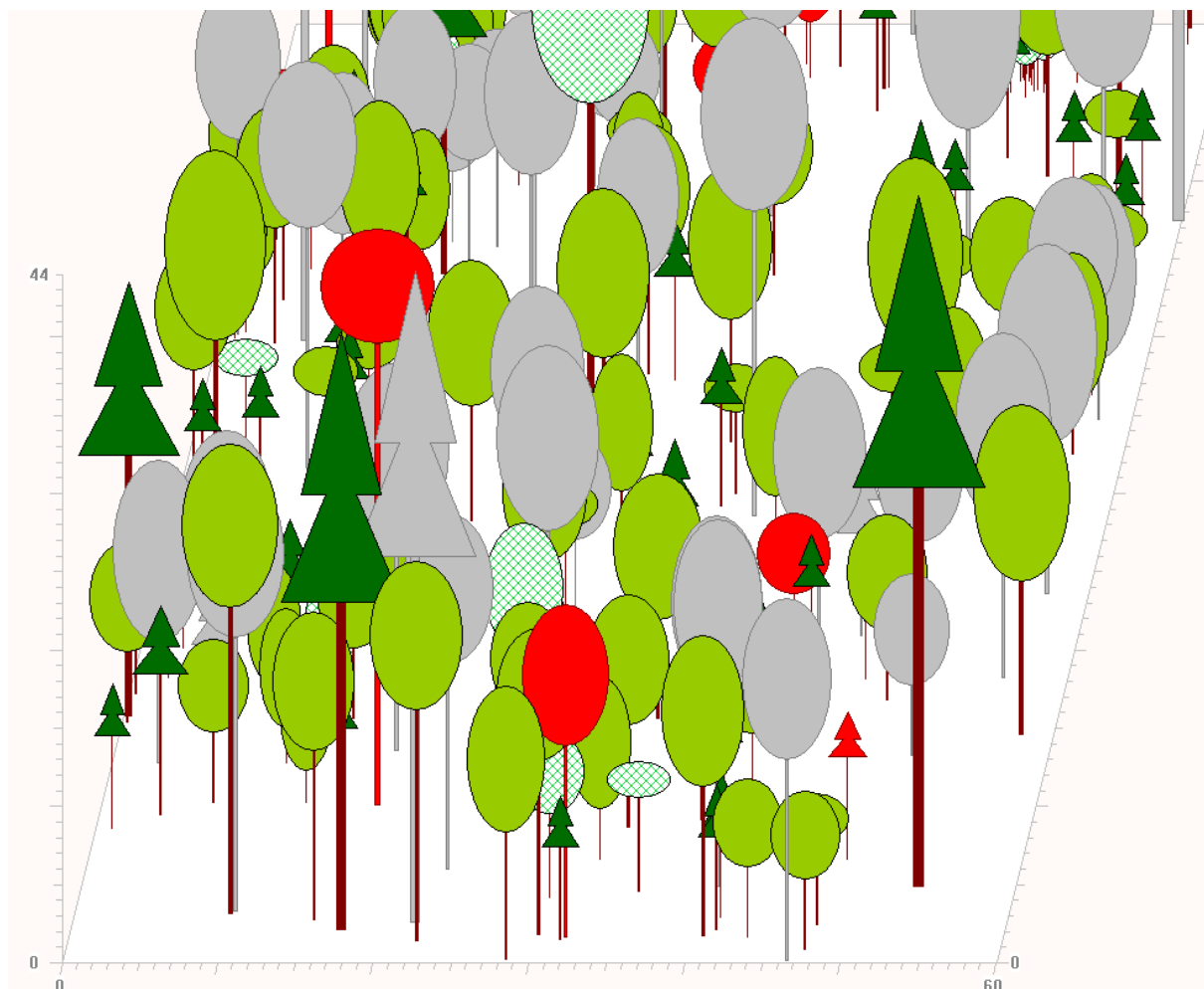
Kroz ugrađene modele simulator daje podatke o mortalitetu i regeneraciji. Regeneracija odnosno obnova sastojine prikazana je kroz priljev stabala u sastojinu. Osim određivanja iznosa etata važno je etat raspodjeliti i na vrste drveća tj. odabrati stabla za sječu odnosno napraviti virtualnu doznaku.

Principi gospodarenja koji su uključeni i kojih se pridržavalo tijekom simulacije su sljedeći:

1. uspostava i podržavanje preborne strukture sastojine,
2. održavanje dijela postojeće jelovine u sastojini dokle god je to moguće,
3. pomlađivanje jele u sastojini,
4. uspostava teoretskog omjera drvene zalihe i vrste drveća,
5. razvoj kvalitetnih stabala bukve uz smanjenje njezine brojnosti,
6. poticanje visoko cijenjenih (plemenitih) listača (gorski javor).

Nakon svakog koraka simulacije simulator prikazuje stanje sastojine u 3-D prikazu., a na slici 7. prikazana je sastojina nakon četiri koraka simulacije. Na prikazu su tri vrste drveća od kojih je dio određen za sječu, a dio predstavlja mrtvo drvo. Možemo primijetiti da su stabla određena za sječu uglavnom velika i stara stabla listača (bukva i javor), dok su mrtva drva uglavnom stabla srednjeg do velikog promjera koja također uglavnom pripadaju skupini listača (prikaz nakon pet koraka simulacije (slika 7)).

Svaki slikovni prikaz sastojine prate podaci o svim bitnim elementima sastojine od kojih je formirana excel baza podataka te su napravljene sve analize i grafički prikazi.



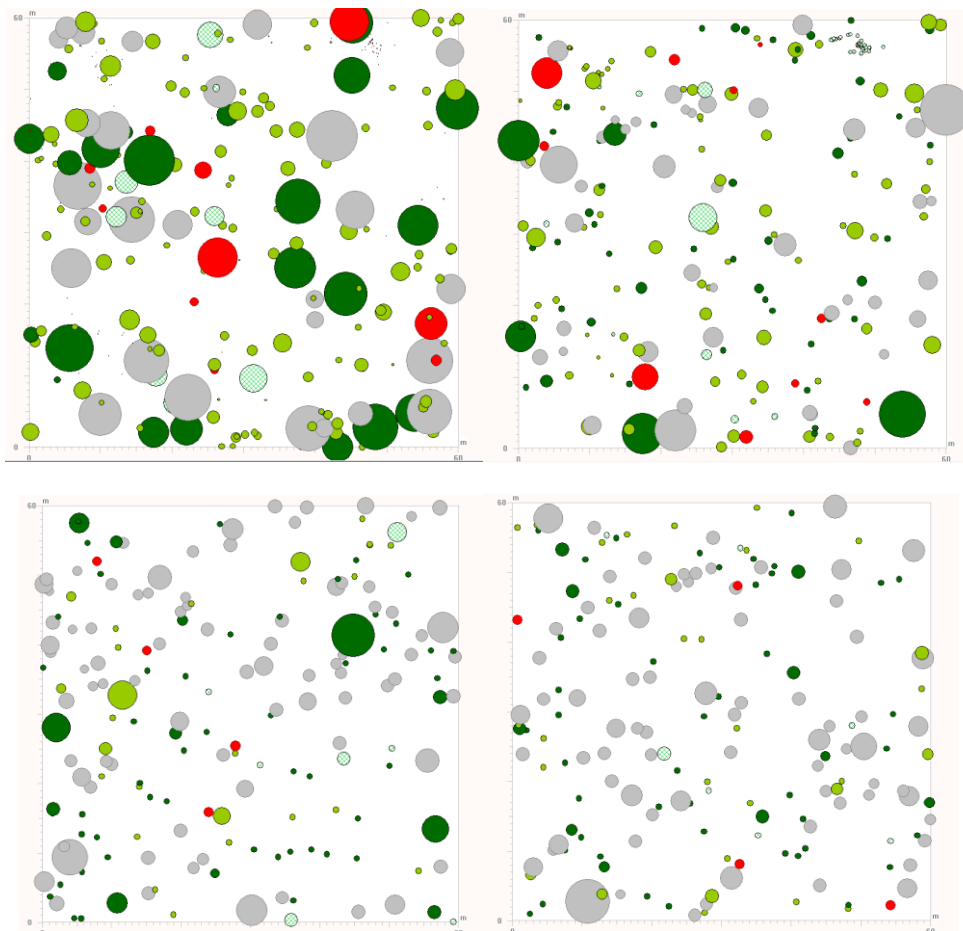
Slika 7. 3-D prikaz sastojine nakon četiri koraka simulacije 2052 (tri vrste drveća te mortalitet (crveno) i sječa (sivo))

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Nakon provedene simulacije pokusne plohe sa DJ Delnice, područje Sovića Laz, dobili smo prikaz 3-D simulacije razvoja strukture sastojine te su dobiveni podaci za broj stabala, temeljnice, drvnu zalihu, mortalitet, priljev i etat.

4.1. Prikaz 3-D simulacije razvoja strukture sastojine

Iz dobivenih prikaza razvoja sastojine vidljivo je smanjenje intenziteta sječe tijekom desetogodišnjih ciklusa (slika 8). Nakon što su u prvim ophodnjicama posječena prezrela stabla etat se svodi na prirast. No vidljivo je da primjenjeni model ubrzano devastira sastojinu, otvara sklop i omogućava veliku regeneraciju. No zbog kasnije potpune sječe prirasta sastojina nema mogućnost normalnog razvoja već se neprekidno održava u stanju guste mlade sastojine. Nakon nekog vremena zbog izostanka uroda sjemena obnova bi bila moguća samo kroz vegetativnu obnovu listača.



Slika 8. Prikaz razvoja sastojine (2022, 2052, 2092, 2122 godina) uz primjenu etata određenog temeljem aktualnog prirasta i drvene zalihe iznad 70cm prsnog promjera

Tamnozeleni ispun označava običnu jel, svijetlo zeleni označava običnu buk, uzorak označava javor, crveni ispun označava mrtva stabla (sušice), a sivi ispun označava stabla određena za sječu (tamnozeleni krug - obična jela, svijetlozeleni krug - obična bukva i isprekidani svijetlozeleni krug - javor).

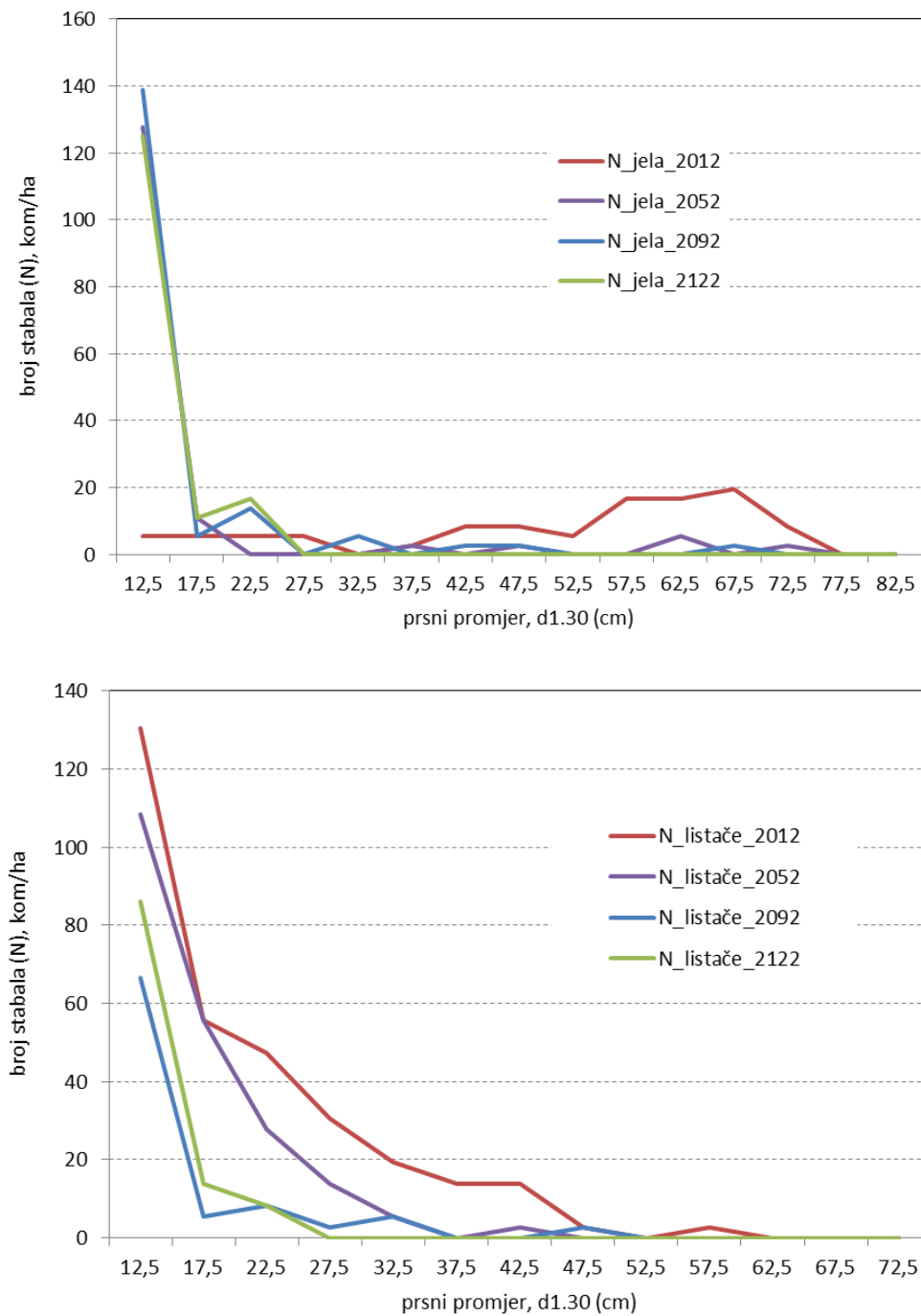
Nakon prvog koraka simulacije (2022.) intenzitet sječe iznosio je gotovo 50 % te se može primijetiti da su sječena uglavnom velika (stara) stabla. Nakon nekoliko koraka simulacije intenzitet sječe se prilično povećao. Nakon četiri koraka simulacije (2052.) intenzitet sječe povećao se za oko 5 % u odnosu na prvi korak, nakon osmog koraka (2092.) povećao se za gotovo 20 %, dok je nakon svih 11 provedenih koraka intenzitet sječe iznosio oko 90 %. Važno je primjetiti da je intenzitet velik, ali je u iznosu sve manji i manji jer je drvena zaliha sve manja, a na kraju projekcijskog perioda gotovo nestaje.

Ono što možemo uočiti u prikazanim simuliranim sastojinama je i opadanje količine umrlih stabala u sastojini. To se posebno primjećuje u drugom periodu simulacije, odnosno na prikazu osmog i zadnjeg koraka.

4.2. Razvoj elemenata strukture sastojine

4.2.1. Broj stabala

Inventarizacija šumske sastojine tijekom 2012. godine na pokusnoj plohi pokazala nam je da u slučaju obične jele prevladavaju stabla većeg prsnog promjera (>50 cm), dok je kod listača taj slučaj bio drugačiji. Primjenom scenarija 3 možemo uočiti da se nakon nekoliko ciklusa značajno povećao broj stabala jele sa manjim prsnim promjerom (< 20 cm) (slika 9a). Međutim, na samom kraju simulacije vidi se da se broj stabala jele općenito smanjio i da nakon 11 provedenih koraka nedostaje stabala jele koji bi se mogli svrstati u stabla srednjeg i velikog prsnog promjera. U slučaju listača, tijekom projekcijskog razdoblja također se primjećuje opadanje broja stabala svih veličina te se također može uočiti gotovo potpuni gubitak stabala srednjeg i velikog prsnog promjera (slika 9b).

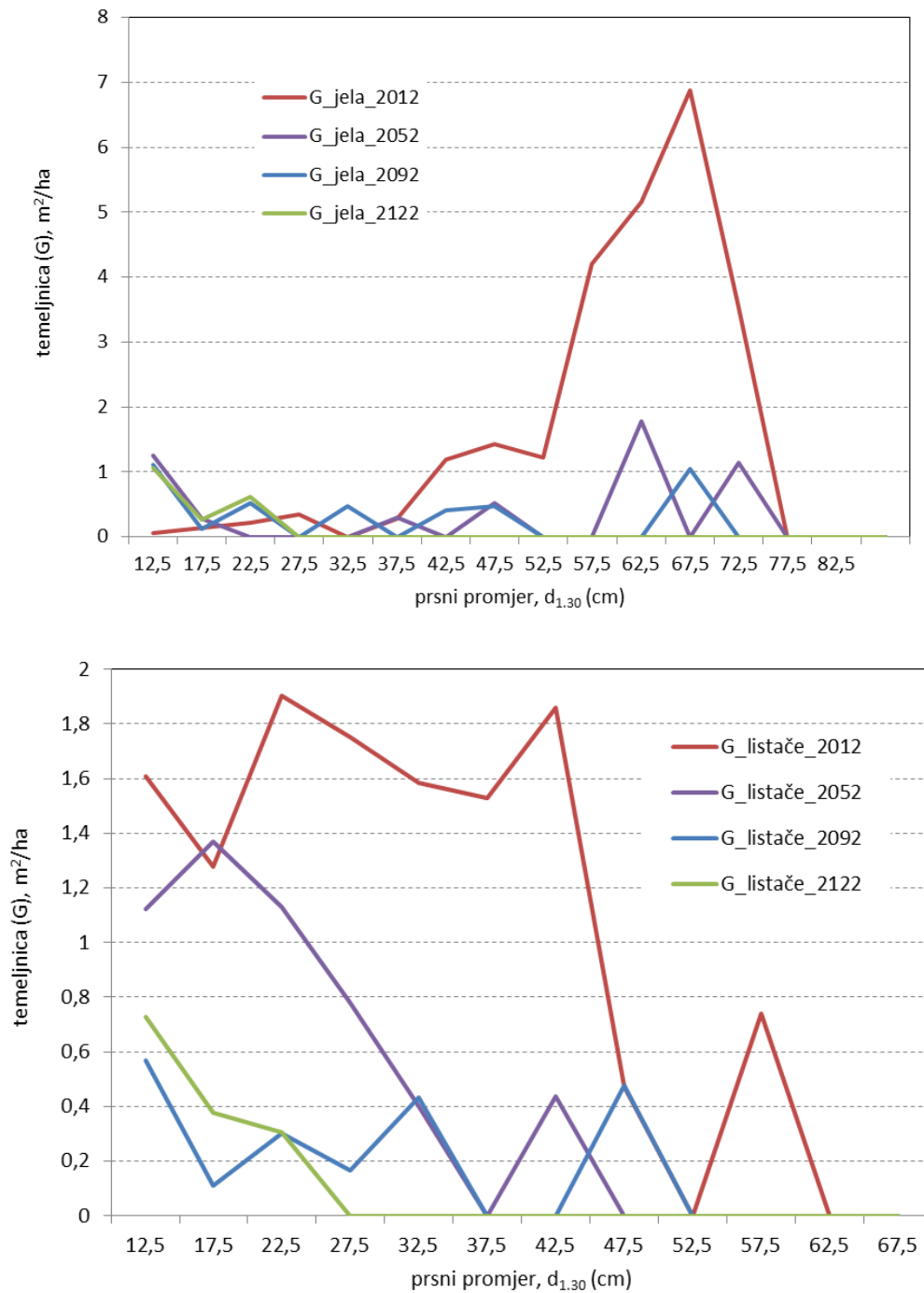


Slika 9. Razvoj broja stabala a) jele i b) listača tijekom projekcijskog razdoblja

4.2.2. Temeljnica

Temeljnica stabla je površina njegovog poprečnog presjeka u prsnoj visini. Ukupnim zbrojem temeljnica svih stabala u sastojini čiji je prsni promjer veći od 10 cm dobijemo temeljnicu sastojine. Ista se iskazuje u m² po jednom hektaru površine. Tijekom 2012. godine unutar istraživane šumske sastojine najveći udio temeljnice jelovine čine stabla sa većim prsnim promjerom, odnosno stabla koja imaju prsni promjer > 50 cm (slika 10a). Stabla jele sa malim promjerom su imala nikakav ili gotovo nikakav udio u temeljnici, dok su stabla srednjeg promjera ipak imale mali udio u temeljnici sastojine. Grafički podaci koje smo dobili tijekom procesa simulacije pokazuju malo povećanu temeljnicu malih stabala jele u odnosu na 2012. godinu, ali općenito gledajući rezultate preostalih desetogodišnjih ciklusa vidi se značajan pad temeljnice jelovine.

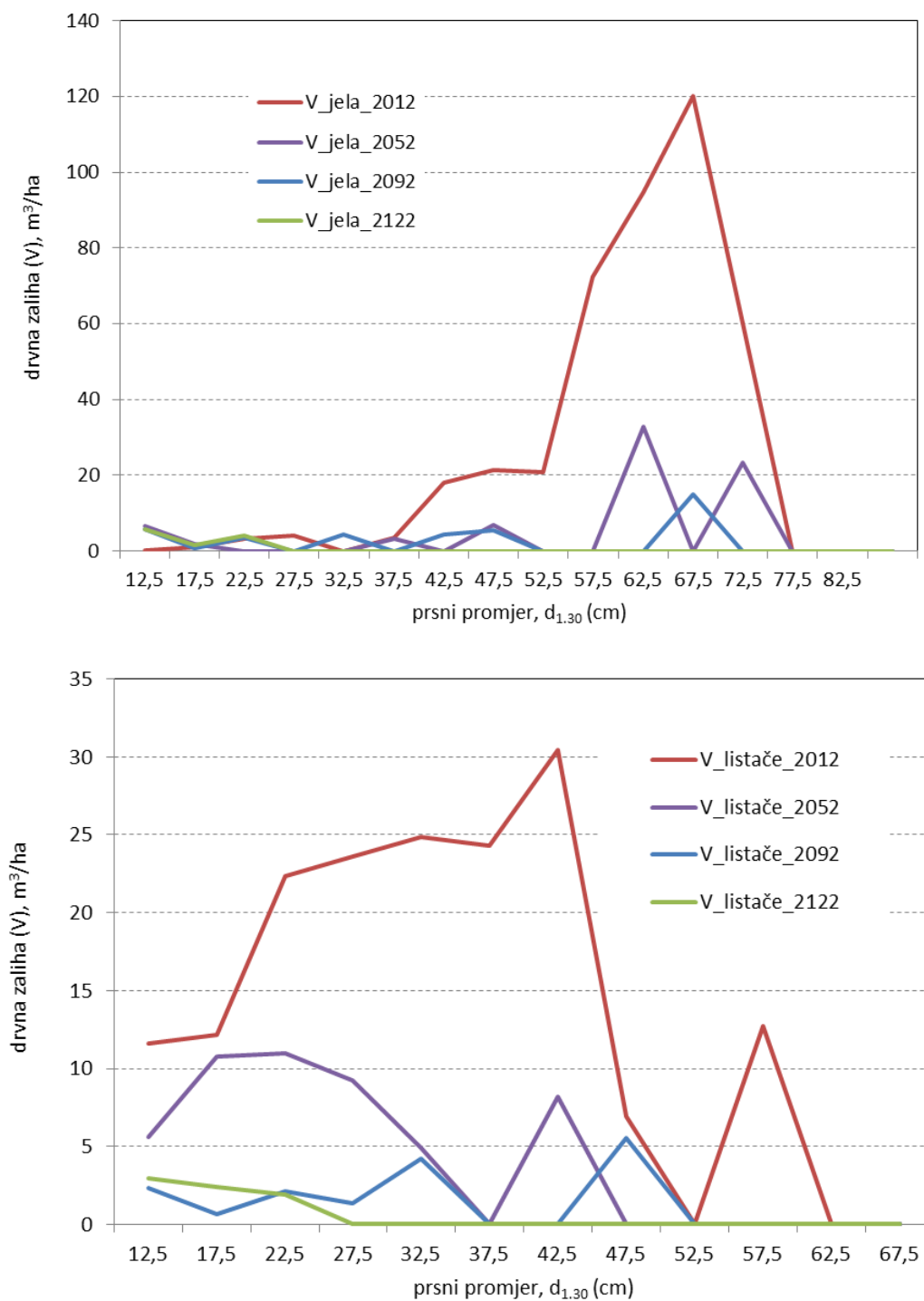
Za razliku od jelovine, temeljnice ostalih listača određene su prvenstveno malim i srednjim stablima listača (slika 10b). Tijekom 2012. godine temeljnice listača bile su znatno manje od temeljnica jelovine. Nakon četiri kruga sječa primjećuje se značajan pad broja, a time i temeljnice srednjih stabala listača. Stabla velikih prsnih promjera nisu značajna za temeljnicu listača budući da ih nakon nekoliko ciklusa gotovo uopće i nema, a nakon posljednjeg simuliranog ciklusa temeljnica listača vezana je samo uz stabla čiji je promjer manji od 27,5 cm.



Slika 10. Razvoj temeljnica a) jele i b) listača tijekom projekcijskog razdoblja

4.2.3. Drvna zaliha

Drvna zaliha odnosi se na volumen svih stabala na nekoj površini, a iskazuje se u m^3/ha . Dobivena struktura drvene zalihe primjenom scenarija 3 pokazuje značajan pad drvene zalihe jelovine (slika 11a) zbog velike količine sječe tijekom simulacije.



Slika 11. Razvoj drvene zalihe a) jela i b) listača tijekom projekcijskog razdoblja

Tijekom 2012. godine drvnu zalihu jele ponajviše su činila velika i starija stabla sa većim prsnim promjerom, dok je manji dio obuhvaćao stabla sa srednjim prsnim promjerom. Stabla malih promjera činila su neznatan dio drvne zalihe, a njihov udio se sa provedenom simulacijom nije povećao. Listače su tijekom iste godine imale drvnu zalihu koju su sačinjavala većinom stabla srednjeg prsnog promjera, dok je manjih i izrazito velikih stabala u tom slučaju bilo manje (slika 11b).

Nakon provedene simulacije, može se uočiti da drvnu zalihu jele čine samo stabla malih promjera, dok su srednja i velika stabla u potpunosti izostala. Isti slučaj se na koncu dogodio i u slučaju listača koje su također nakon provedene simulacije ostale bez srednjih i velikih stabala.

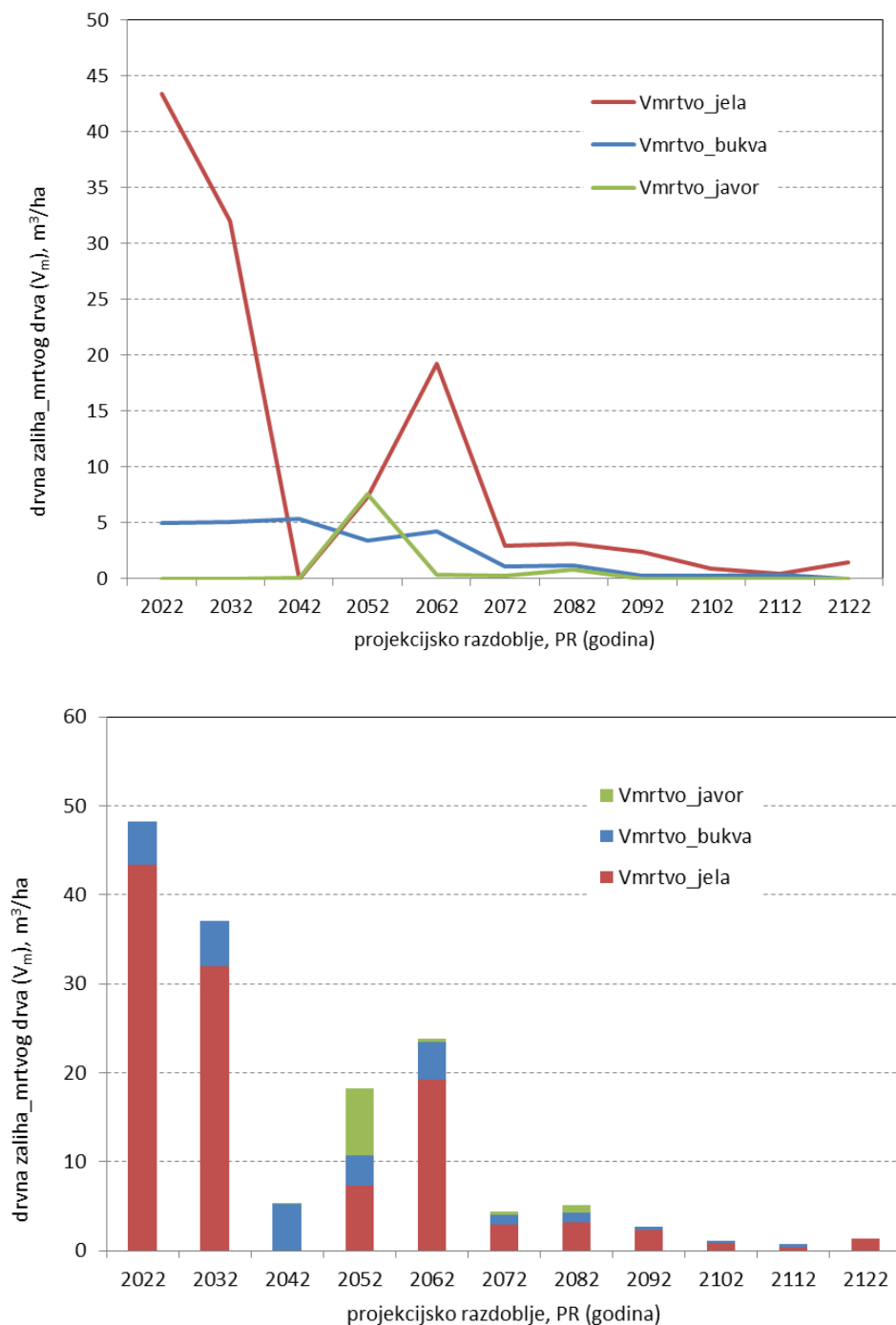
4.2.4. Mortalitet

Drvna zaliha mrtvog drva jele se mijenjala tijekom simulacije. Najveću količinu mrtvog drva obične jele imali smo na samom početku simulacije, kada je nakon provedenog prvog koraka ustanovljeno više od 40 m³ mrtve jele po hektaru (slika 12a). Nakon toga slijedi nagli pad mortaliteta jele, da bi se nakon pete simulacije količina mrtvog drva jele ponovno povećala do gotovo 20 m³/ha. Međutim, u drugom periodu projekcijskog razdoblja (od 2072. nadalje) mortalitet je bio podjednako nizak do samog kraja simulacije. Mortalitet obične bukve je već od početka bio značajno manji od mortaliteta obične jele, a količina mrtvog drva bukve samo se smanjivala sa svakim novim korakom simulacije.

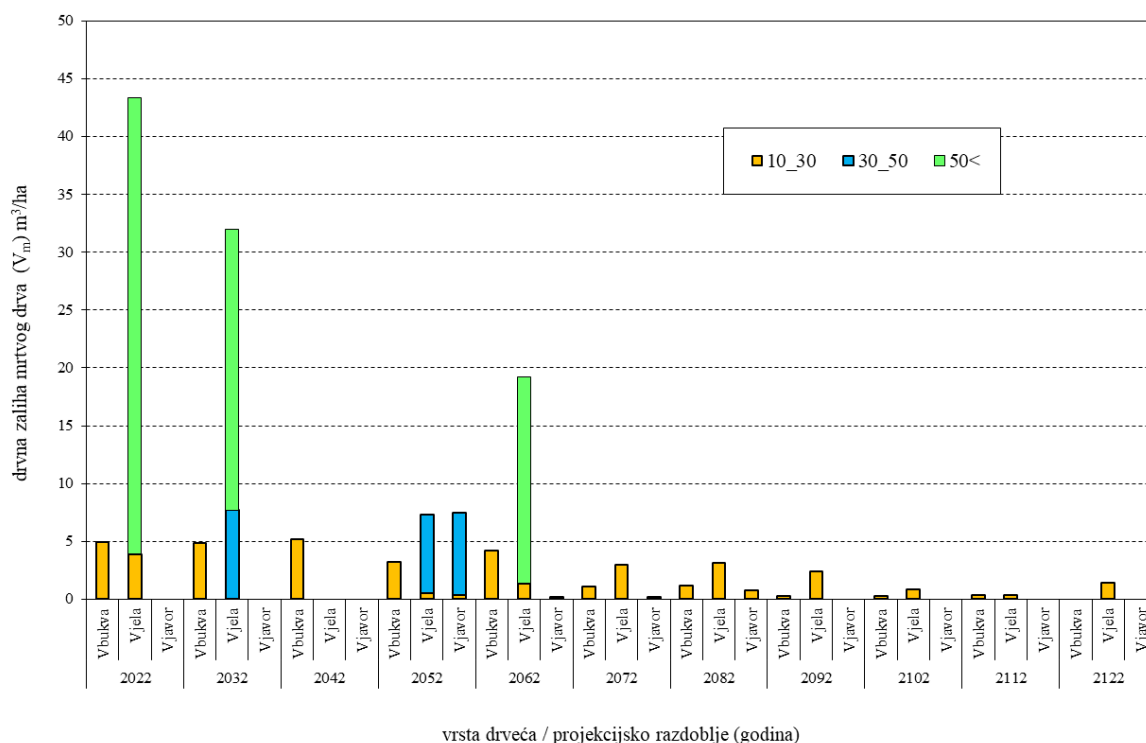
Najveća drvna zaliha ukupnog mrtvog drva u ovoj sastojini dobivena je nakon prvog kruga simulacije u kojem je najveći udio (više od 90 %) imala jela. Umrla stabla jele dominiraju kroz gotovo svih 11 provedenih koraka (slika 12b). Drvna zaliha ukupnog mrtvog drva drastično je pala u trećem krugu simulacije, nakon kojeg se tijekom dva ciklusa ponovno penje. U drugoj polovici simulacijskog perioda ukupna drvna zaliha mrtvog drva je značajno pala i ostala niska do samog kraja.

U početku su najviše odumirala stabla jele velikog promjera (> 50 cm), dok su kasnije to bili uglavnom pripadnici najmanjeg debljinskog razreda (10 – 30 cm) što je i logično

budući da su velika stabla u prethodnim koracima uglavnom posječena. U posljednjih nekoliko projekcijskih razdoblja mortalitet svih vrsta drveća u istraživanoj šumskoj sastojini je bio izuzetno nizak i gotovo beznačajan.



Slika 12. Mrtvo drvo (sušci) a) po vrstama drveća i b) ukupno po projekcijskim razdobljima



Slika 13. Mrtvo drvo (sušci) prema kontrolnim debljinskim razredima, vrstama drveća i projekcijskim periodama

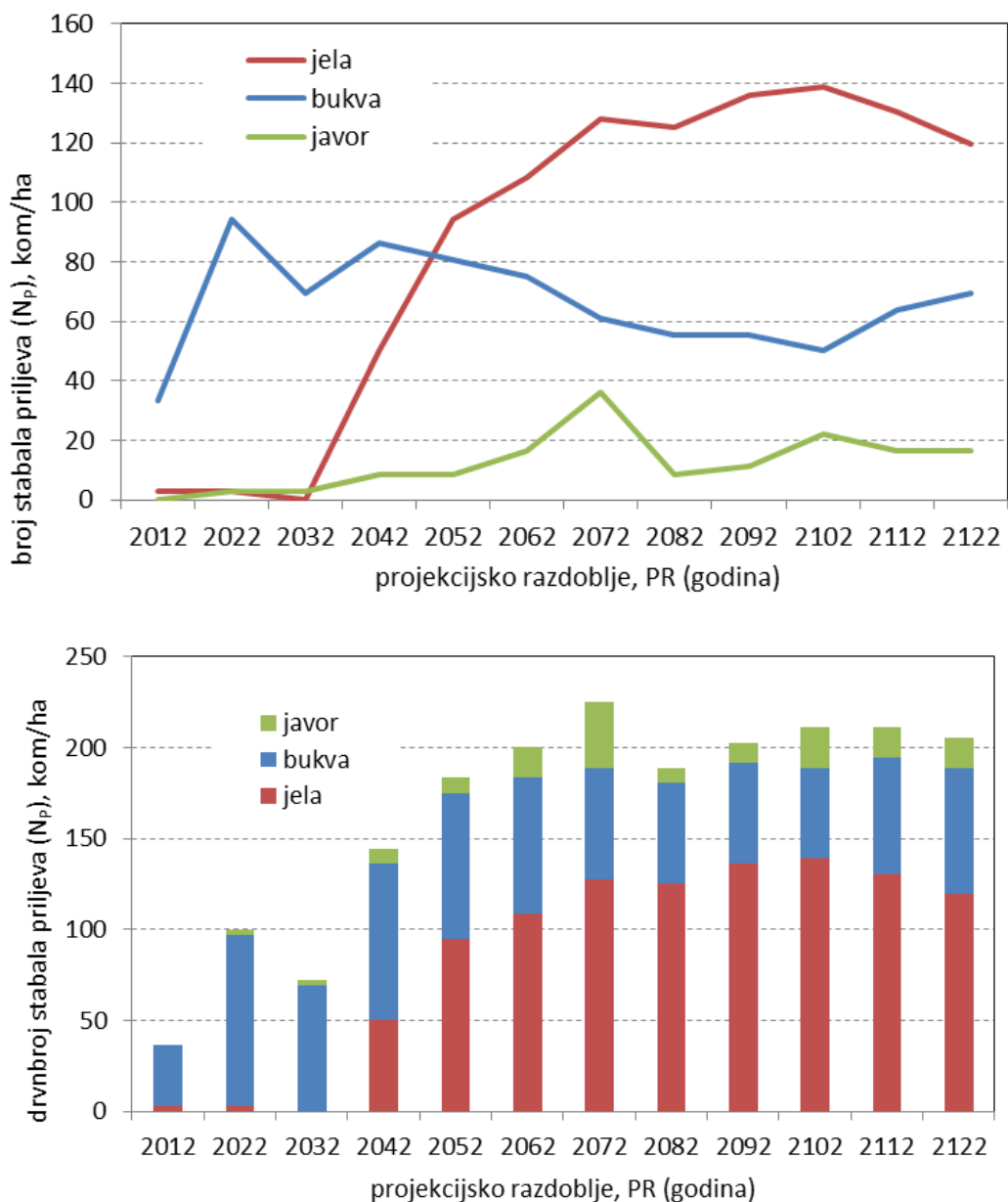
4.2.5. Priljev

Priljev stabala predstavlja volumen sastojine koja ima mogućnost trajne regeneracije. Priljev novih stabala izražavamo kao komad (stablo) po jednom hektaru. Korištenjem scenarija 3 unutar simulacije razvoja sastojine dinarskih bukovo – jelovih šuma dobili smo rezultate koji pokazuju najveći priljev kod vrste obična jela (slika 14a). U 2012. godini priljev ove vrste bio je izuzeto nizak, tek nešto viši od 0. Međutim, nakon drugog kruga simulacije broj stabala priljeva jele po hektaru se značajno povećava, a povećanje traje sve do posljednja dva kruga simulacije kada ponovno počinje opadati. Priljev jele najveći je tijekom 2102. razdoblja kada iznosi gotovo 140 stabala po ha.

Obična bukva je u 2012. godini u ovoj sastojini imala puno veći broj stabala priljeva od jele i javora. Njezin priljev je imao samo jedno skokovito povećanje i to nakon prvog

kruga simulacije kada se broj stabala priljeva po ha približio broju 100. Nakon toga broj stabala priljeva obične bukve nije značajno oscilirao te je na kraju simulacije broj stabala priljeva iznosio oko 70 komada po hektaru.

Kada pogledamo priljev stabala ukupno po projekcijskim razdobljima, možemo zaključiti da je priljev stabala unutar ove sastojine značajno veći već nakon četvrtog kruga simulacije i on nastavlja biti otprilike jednake vrijednosti do kraja simulacije (slika 14b).



Slika 14. Priljev stabala a) po vrstama drveća i b) ukupno po projekcijskim razdobljima

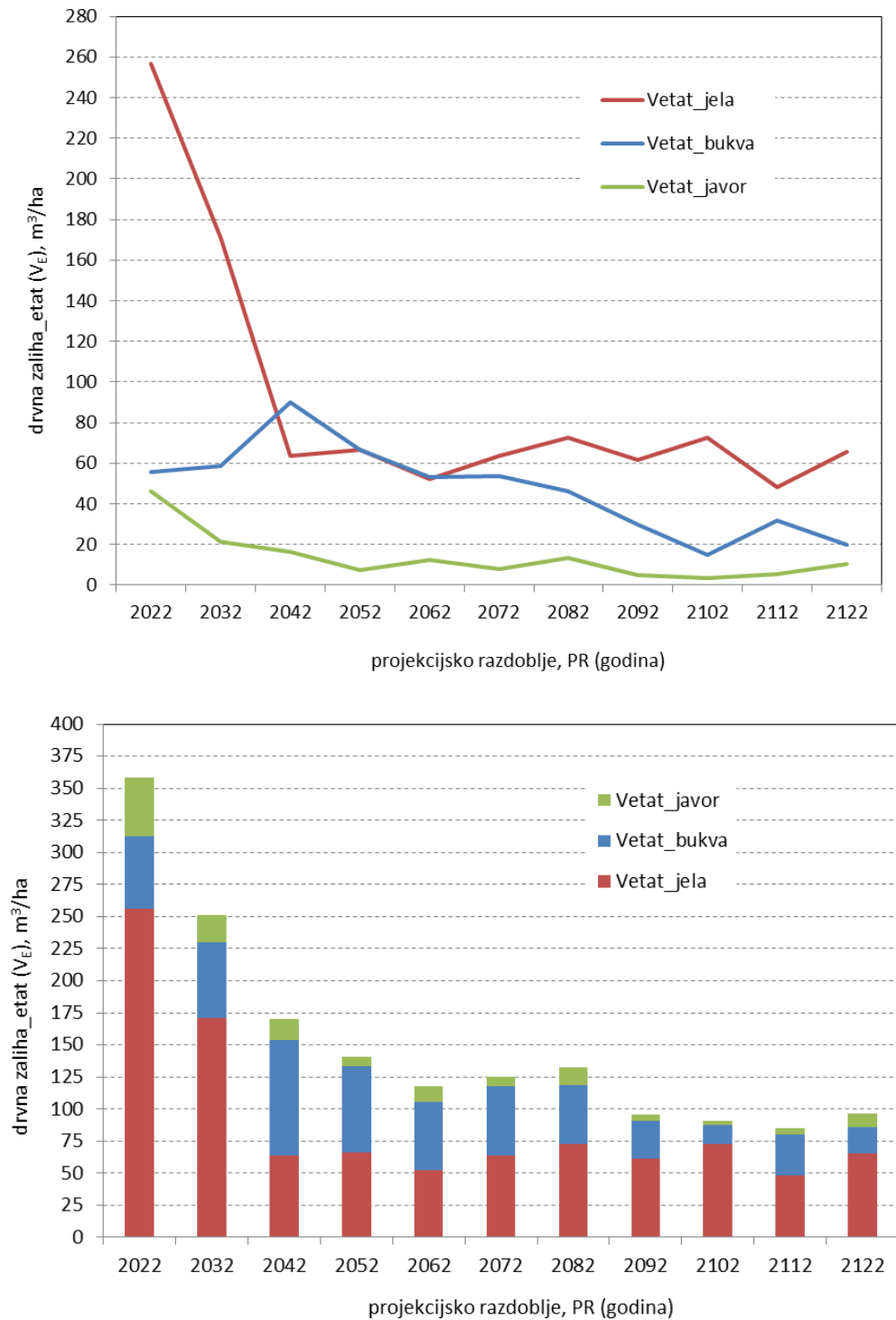
4.2.6. Etat

Etat predstavlja količinu drvene zalihe ili površinu šume predviđene za sječu u tijeku jedne godine. U ovom slučaju vidljivo je da je etat jelovine na početku simulacije bio izrazito visok i značajno veći od etata ostalih vrsta sastojine (obične bukve i javora) (slika 15a). Već nakon prvog kruga simulacija etat jelovine značajno opada (za čak 200 m²/ha) te do kraja simulacije ostaje manje-više isti.

Etat obične bukve i javora, za razliku od etata jele, nije imao značajne oscilacije tijekom cijelog perioda simulacije. Obična bukva je nakon drugog kruga simulacije imala blago povećani etat u odnosu na izvorni stadij, ali već nakon toga slijedi opadanje etata koji se polagano smanjuje sve do samog kraja simulacije. Najniži etat od promatranih vrsta imao je javor koji je tijekom cijele simulacije polagano opadao.

Na grafičkom prikazu drvene zalihe etata ukupno po projekcijskim razdobljima vidljivo je da je najveći etat zabilježen na samom početku simulacije (slika 15b), što je i logično s obzirom na to da je tada još uvijek prisutne velik broj stabala. U etatu tog razdoblja dominira jela koja čini oko 70 % etata od ukupne količine, dok je preostalih 30 % gotovo ravnomjerno raspoređen između bukve i javora. Etat opada već nakon prvog kruga simulacije te je do kraja simulacije smanjen za oko 75 %. Ono što možemo primijetiti u ovom prikazu je da etat jele dominira u gotovo svim projekcijskim razdobljima. Etat bukve drugi je najznačajniji u ovoj sastojini, dok je etat javora u odnosu na ostale vrste prilično mali.

Obzirom na početnu strukturu sastojine jasno da je etat u prvim ophodnjicama simulacije ogroman unatoč niskom volumnom prirastu. Kada zrela sastojina bude uklonjena sječa se svodi na prirast koji se sječe u potpunosti što ne dozvoljava razvoj sastojine i neminovno vodi u njenu degradaciju.

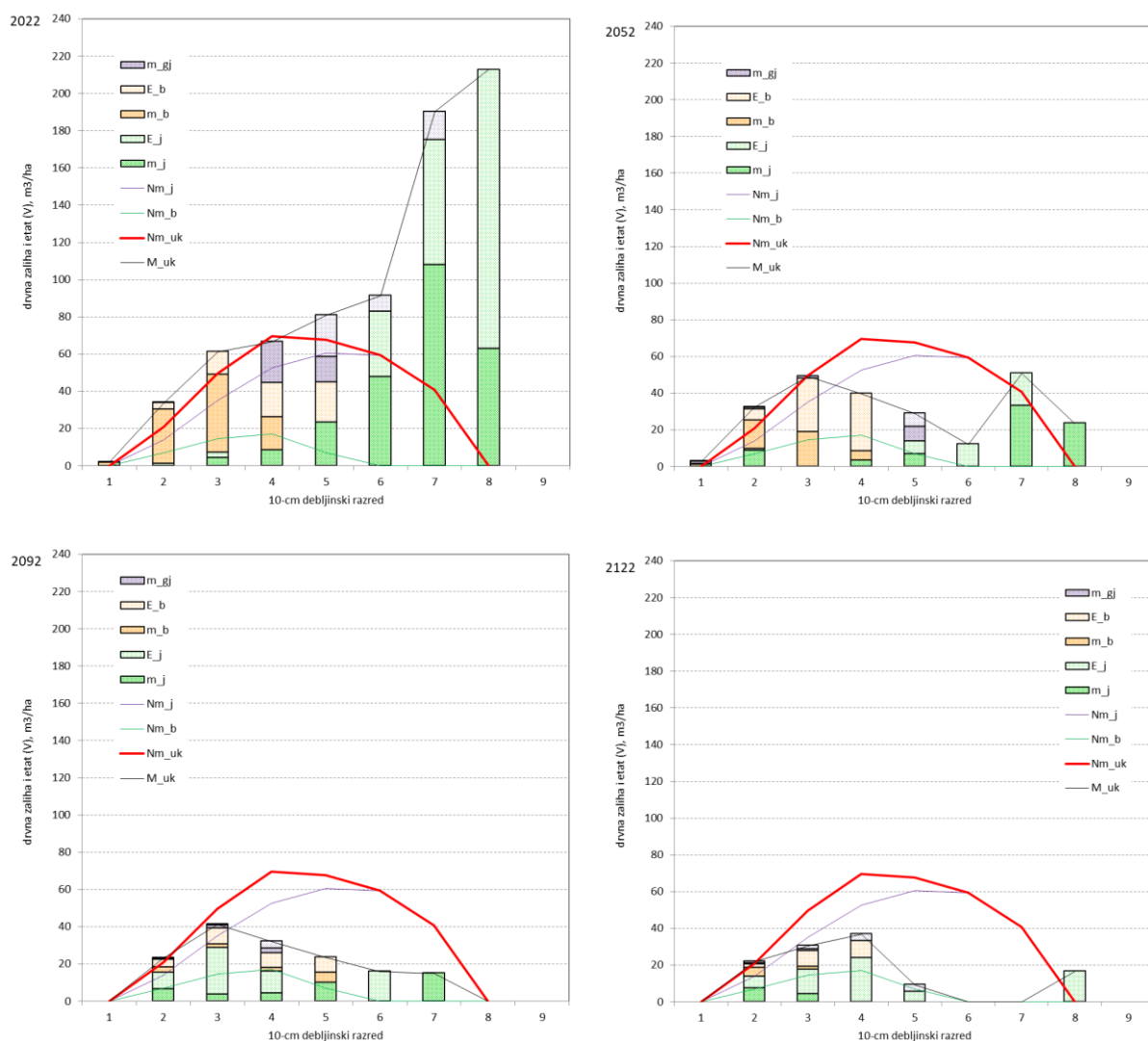


Slika 15. Drvna zaliha (volumen) etata a) po vrstama drveća i b) ukupno po projekcijskim razdobljima

4.3. Pokazatelji dugoročne uspješnosti modela gospodarenja

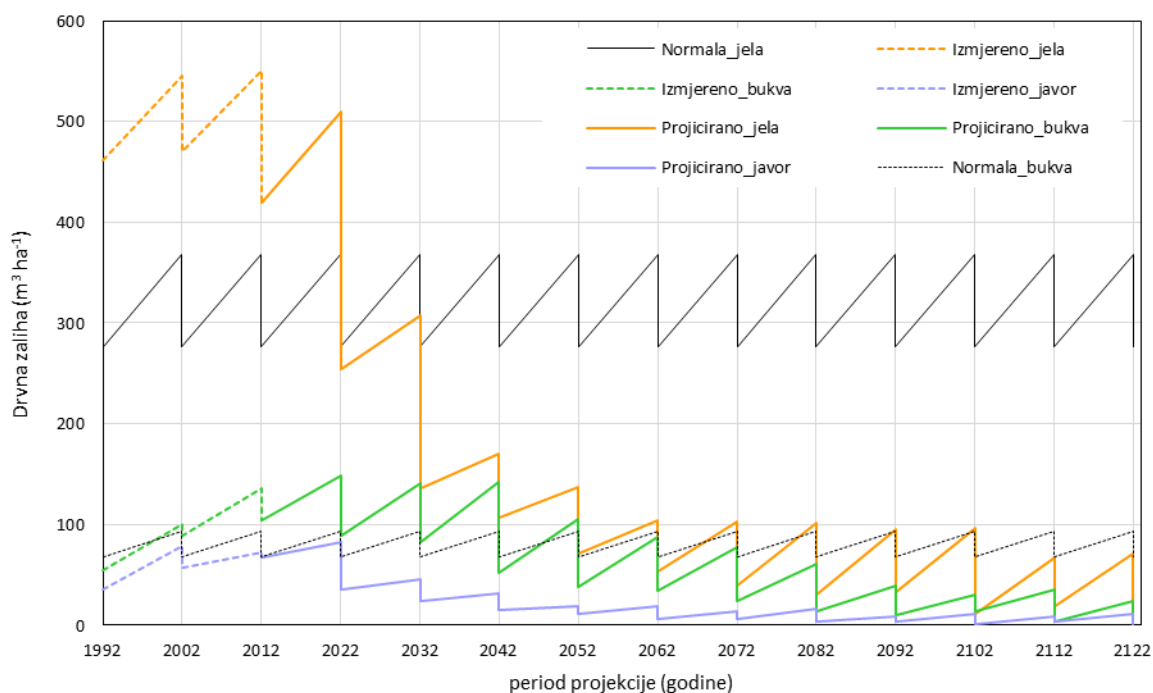
Simulacija razvoja istraživane šumske sastojine scenarijem prema kojem etat čini prezrela drvena zaliha i volumni prirast pokazala je drastično smanjenje drvene zalihe i etata svih vrsta, naročito stabala jele većih promjera (> 50 cm). Već nakon pet ophodnjica primjene struktura sastojina pada ispod teoretske, a kako projekcija dalje odmiče sastojinu čine samo sitna stabla i priljev. Prema projekcijama se niti nakon 110 godina ne bi u sastojini uspostavio dovoljan udio manjih stabala jele da se ona značajnije razvije (slika 16).

Dugoročno primjenjeni model vodi u degradaciju sastojine i jasno pokazuje da je vrlo teško za duže vremensko razdoblje postaviti jedinstven i krut model koji bi odgovorio na sve izazove gospodarenja mješovitim prebornim bukovo-jelovim šumama.



Slika 16. Detaljan prikaz razvoja drvene zalihe i etata po vrstama drveća kroz projekcijsko razdoblje

Rezultati razvoja drvene zalihe po vrstama drveća pokazuju da su projicirane zalihe jele značajno ispod teoretskih, dok je kod listača projicirana zaliha isto manja, ali ne u tako velikoj mjeri kao što je to kod jelovine (slika 17).



Slika 17. Razvoj drvene zalihe po vrstama drveća u odnosu na teoretsku kroz projekcijsko razdoblje

4.4. Analiza i vrednovanje modela gospodarenja

Različitim pristupima količini i raspodjeli sječe u šumskim sastojinama razvijena su tri scenarija gospodarenja tim šumama koja su prikazana u poglavlju 3.3. Simuliranje razvoja strukture sastojine pomoću MOSES simulatora (potpoglavlje 3.3.2.). Scenarij koji je korišten u ovom istraživanju odnosi se na određivanje etata temeljem udjela velikih stabala ($\text{dbh} > 70 \text{ cm}$) i trenutnog periodičnog (desetogodišnjeg) prirasta volumena (scenarij 3), dok se preostala dva temelje na razvoju bukovo-jelove sastojine simulatorom temeljem klepčeve formule (scenarij 1) i na temeljnu teoretskog prirasta (scenarij 2).

Primjenom odabranog modela gospodarenja temeljem analize svih elemenata strukture, obnove i stabilnosti sastojine ne bi se ostvarili postavljeni ciljevi gospodarenja.

Scenarij drastično i brzo otvara sklop sastojine jer ima na raspolaganju veliku prezrelu zalihu za sječu. U sljedećoj fazi već nakon tri ophodnjice iznos sječe se svodi na akumulirani volumni prirast što praktično znači prorjeđivanje sastojine, a dugoročno do potpune degradacije. Obzirom da otvara sklop regeneracija prema modelima je velika i intenzivna kroz cijelo projekcijsko razdoblje. Mortalitet je značajan u početku obzirom na zalihu, ali u broju stabala je izraženiji u kasnijim razdobljima kada u sastojini imamo velik broj tankih stabala.

Sveukupno možemo zaključiti da model gospodarenja nije prikladan za dugoročnu primjenu. Kratkoročno je primjenjiv za redukciju prezrele drvene zalihe i poticanje regeneracije posebno prisutnih listača, u prvom redu obične bukve.

5. ZAKLJUČAK

Razvoj i struktura obnova šumskih sastojina od posebne su važnosti za hrvatsko šumarstvo i gospodarenje šumama. U Hrvatskoj se gospodarenje šumama uglavnom temelji na prirodnoj obnovi, što se posebno odražava u sastojinama bukovo – jelovih šuma u kojima obnova, odnosno priljev stabala mora biti stalan i ujednačen u dužim vremenskim razdobljima.

Razvoj strukture bukovo – jelove šume na području GJ Delnice (odsjek Savića Laz) simuliran je za 11 budućih desetljeća s 10-godišnjim ciklusima provedbe sječa pomoću MOSES 3.0 simulatora. Kao rezultat projekcije razvoja gospodarenja primjenom izabranog scenarija obilježenog određivanjem etata u iznosu jednakom zbroju volumena prezrele drvene zalihe (stabala prsnog promjera iznad 70 cm) i akumuliranog desetogodišnjeg volumnog prirasta, dobiveni su i prikazani svi bitni elementi preborne sastojine poput broja stabala, temeljnica, drvene zalihe, mortaliteta i etata pojedinih vrsta unutar sastojine. Posebno su važni pokazatelji regeneracije sastojine poput broja pomladka, količine priljeva i broja tankih stabala.

Navedeno omogućava prikaz prostorno-vremenskog razvoja svih nabrojanih elemenata i analize uspješnosti primjenjenog modela gospodarenja i provedenog kroz simulaciju u simulatoru razvoja sastojna.

Analizirajući dobivene rezultate možemo zaključiti sljedeće:

- Primjenom ovog scenarija izrazito je velika količina sječe tijekom cijelog projekcijskog razdoblja. Posebno ako je gledamo u odnosu na postojeću drvenu zalihu kao intenzitet sječe. Posebno je velika sječa u prvim ophodnjicama kao posljedica početne prezrele strukture sastojine.
- Prekomjerna sječa predviđena odabranim modelom gospodarenja za posljedicu ima potpunu degradaciju sastojine. Posljedica je to prvo urušavanja strukture, a u daljnjoj fazi održavanja dostignutog stanja sječom cijelog prirasta.
- Odabrani scenarij je rezultirao sa izuzetno malo ukupnog mortaliteta jele i bukve unutar istraživane sastojine tijekom prvog dijela simulacijskog razdoblja, a u drugom dijelu mortaliteta ovih vrsta gotovo da nije niti bilo. Posljedica je to smanjene kompeticije među stablima zbog prorjeđenog sklopa intenzivnim sječama,

- Dobivena struktura razvoja drvene zalihe i etata sastojine na kraju simulacijskog perioda pokazuje velika odstupanja u projektiranoj i teoretskoj strukturi jele te manja odstupanja u projektiranoj i teoretskoj strukturi listača. Sastojina je strukturno značajno ispod optimalne i uravnotežene zadane optimalnim teoretskim modelom.

Prema svemu navedenom, možemo zaključiti da model gospodarenja u kojem se iznos etata određuje na temelju prezrele drvene zalihe i potpunog volumnog prirasta dugoročno nije primjenjiv i neminovno vodi u sveobuhvatnu degradaciju sastojine. Kratkoročno je uz oprez primjenjiv za otvaranje sklopa intenzivnijom sječom u manje strukturno narušenim bukovo-jelovim sastojinama kako bi se potaknula obnova i time izmjena strukture sastojine. Općenito možemo zaključiti da dugoročno je vrlo teško pronaći jedinstven i kruto nepromjenjiv model određivanja etata koji bi uspostavio ravnotežu u sastojini i kasnije je nastavio održavati. Stoga postupke gospodarenja treba kontinuirano preispitivati te prilagođavati stanju sastojina i općenito ciljevima i okolnostima gospodarenja šumama. Prilagodljivi modeli u okolnostima stalnih i sve češćih ugroza šuma (elementarne nepogode, bolesti) znatno su prihvatljiviji. Upravo simulatori razvoja sastojina važni su jer omogućavaju provjeru modela prije nego se primjene u širokoj praksi i posljedično izazovu nepopravljive posljedice. U simulatoru sve možemo ponoviti dok greške na prirodi, pa i na šumama su dugoročne i teško popravljive. Za očekivati je daljnji razvoj i poboljšanje simulatora te sve veće njihove primjene kao potpore odlučivanju u gospodarenju šumama.

6. LITERATURA

1. Alegro, A. (2000) Vegetacija Hrvatske. Zagreb. Interna skripta, Botanički zavod PMF-a.
2. Anić, I., Meštrović, Š., Matić, S. (2012): Značajniji događaji iz povijesti šumarstva u Hrvatskoj, Šumarski list, 3–4, CXXXVI, 169–177
3. Beljan, K. (2015): Ekonomska analiza gospodarenja šumama obične jele (*Abies alba* Mill.) jednodobne strukture, doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet
4. Božić, M. (2003): utjecaj stanišnih i sastojinskih elemenata na prirast obične jele (*Abies alba* Mill.) u jelovim sastojinama na kršu u Hrvatskoj, disertacija, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu
5. Čavlović, J., Božić, M., Bončina, A. (2006): Standstructure of an uneven-aged fir–beech forest with an irregular diameter structure: modeling the development of the Belevine forest, Croatia. Eur J For Res 125 (4): 325-333.
6. Čavlović, J. (2010): Prva nacionalna inventura šuma Republike Hrvatske. Ministarstvo regionalnog razvoja šumarstva i vodnog gospodarstva
7. Čavlović, J. (2013): Osnove uređivanja šuma. Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 322 str.
8. Čavlović, J., Teslak, K., Beljan, K., Vedriš, M., Andabaka, M. (2020): Long-term dynamics of a stand structure and regeneration in selection fir – beech forest site – Croatian Dinarides case study
9. Frančišković, S. (1927): Šume i šumarstvo vlastelinstva Thurn Taxis u zapadnoj Hrvatskoj. Šumarski list, LI(9):409-420, Zagreb.
10. Gašparović, M. (2016): Značajke pomlađivanja sastojina dinarskih bukovo-jelovih šuma na području Gorskog kotara, diplomski rad, Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet, 2016. urn:nbn:hr:108:329189
11. Hasenauer, H. (1994): Ein Einzelbaumwachstumssimulator für ungleiche Kiefern- und Buchen-Fichtenmischbestände, Vienna, BOKU, 152 pp.
12. Hasenauer, H. (2000): Die simultanen Eigenschaften von Waldwachstumsmodellen, Berlin, Parey, 131 pp.
13. Hasenauer, H. (2006a): Sustainable forest management, Vienna, Springer, 398 pp.

14. Hasenauer, H. (2006b): The growth model MOSES 3.0. U: HASENAUER, H. (ur.) Sustainable Forest Management: Growth Models for Europe. Vienna: BOKU, 64-71 pp.
15. Jelaska, S.D. (2005): A contribution to classification of dinaric fir-beech forests at fourth level of Croatian national habitat classification. Drypis 1:1-3
16. Klepac, D. (1961): Novi sistem uređivanja prebornih šuma, Poljoprivredno šumarska komora NR Hrvatske. Sekcija za šumarstvo, Zagreb
17. Klepac, D. (1963): Rast i prirast šumskih vrsta drveća i sastojina, Nakladni zavod Znanje, Zagreb
18. Marjanović, H. (2009): Modeliranje razvoja stabala i elemenata strukture u mladim sastojinama hrasta lužnjaka (*Quercus robur* L.), doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, Šumarski fakultet
19. Matić, S., Anić, I., Oršanić, M. (2006): Aktualni problemi gospodarenja običnom jelom (*Abies alba* Mill.) u Republici Hrvatskoj, Glas. šum. pokuse, pos. izd. 5, 7 – 27, Zagreb
20. Porté, A., H.H. Bartelink, (2002): Modelling mixed forest growth: a review of models for forest management, Ecol. Modelling, 150:141-188.
21. Prpić, B., Seletković, Z. (1994): Oštećenost krošanja glavnih vrsta drveća u Hrvatskoj u odnosu na radialne priraste, Šumarski list, 118 (1-2): 3-10, Zagreb
22. Prpić, B., Seletković, Z. (1996): Istraživanja u hrvatskim prašumama i korištenje rezultata u postupku s prirodnom šumom. U: B. Mayer (ur.), Unapređenje proizvodnje i biomase šumskih ekosustava, 97 – 104, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu i Šumarski institut, Jastrebarsko, Zagreb.
23. Šafar, J., (1965): Problem sušenja jele i način gospodarenja na Macelj gori. Šum. list, 89 (1/2): 1–16.
24. Schütz, J. P. (2001): Der Plenterwald und weitere Formen strukturierter und gemischter Wälder; Parey: Berlin, Germany, 2001; pp. 240.
25. Steinmetz, P. (2003): MOSES 3.0.- Forest Growth Modelling Software-User Manual, 19 pp.
26. Šumskogospodarska osnova – uređajni zapisnik, vrijedi od 2016. do 2025., Hrvatske šume d.o.o., Zagreb, kolovoz 2017.
27. Teslak K., Beljan, K., Vedriš, M. (2014): Stand structure projections of Dinaric beech-fir forests in Croatia by different annual cut management models,

- Series of Conference Papers, Center of Forestry Weihenstephan / Hahn, A - Freising, Njemačka : Technische Universität München, 2014, 30-30
28. Trinajstić, I., Rauš, Đ., Vukelić, J., Medvedović, J. (1992): Karta šumskih zajednica u Republici Hrvatskoj. U: Rauš, Đ.: Šume u Hrvatskoj, Šumarski fakultet i „Hrvatske šume“, p. o. Zagreb, Zagreb
 29. Ugarković, D., Tikvić, I., Seletković, Z., Oršanić, M., Seletković, I., Blažinkov, M., Mrkonjić Fuka, M., Redžepović, S. (2011): Neke mikrobiološke značajke tala i prirodno pomlađivanje šumskih otvora oštećenih šumskih ekosustava obične jele (*Abies alba* Mill.) u Gorskom kotaru, Šumarski list br. 3-4, CXXXV, 99-111
 30. Vukelić, J. (2012): Šumska vegetacija Hrvatske, Šumarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, DZZP
 31. Wolf, H. (2003): *Abies alba* – Technical guidelines for genetic conservation and use for silver fir, EUFORGEN Technical Guidelines for Genetic Conservation and Use, ISBN: 92-9043-607-7